

## Trabajo Fin de Grado

Análisis y dimensionamiento de plataforma  
elevadora vertical de columna para 230 Kg de  
capacidad de carga y altura de plataforma 3,6  
metros.

Autor

Miguel Quílez Ibáñez

Director

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Universidad de Zaragoza

2019

## RESUMEN:

---

En el presente proyecto se ha llevado a cabo un estudio para dimensionar el mástil y plataforma de trabajo de una plataforma elevadora móvil de personal (PEMP).

El trabajo se divide en dos partes claramente diferenciadas, las cuales se explican a continuación:

La **primera parte del trabajo**, ha consistido en informarse sobre las especificaciones y estudiar las limitaciones de diseño. Para ello, se ha buscado información sobre los tipos de PEMP; sobre la clasificación establecida por la norma UNE EN 280:2014; y la clasificación según su morfología. A continuación, para estudiar las limitaciones de diseño, tomando como referencia una plataforma del fabricante JLG modelo 1230ES de columna vertical, se han definido las partes que la componen y se han utilizado las especificaciones técnicas que proporciona el fabricante.

Para el modelado, ha sido necesario documentarse sobras medidas de protección y prevención a tener en cuenta en la fabricación; los Materiales para la fabricación ordinaria de estructuras; y los Métodos para la elección del factor de seguridad.

La **segunda parte del trabajo**, ha consistido en la realización del diseño, análisis y dimensionado. En primer lugar se ha utilizado el programa MEFI. Éste nos ha marcado las primeras premisas sobre las dimensiones del perfil tubular que se debe utilizar, para que se cumplan las condiciones de rigidez y resistencia.

En segundo lugar, se ha utilizado el programa de análisis SolidWorks para el diseño y dimensionado de la estructura. La plataforma se ha diseñado mediante superficie como una única pieza, creando las partes que la componen con las herramientas de trabajo que tiene el propio programa.

Una vez creada la plataforma de trabajo se han realizado varios estudios para elegir el mallado idóneo. Estos estudios se basan en modificar parámetros de mallado como:

- Tamaño máximo del elemento
- Tamaño mínimo del elemento
- Número mínimo de elementos en un círculo

Con la malla idónea ya seleccionada, se realiza el análisis estático del conjunto (mástil y plataforma de trabajo), con el fin de obtener resultados de desplazamiento y tensiones que cumplan las condiciones de diseño.

El sobredimensionamiento que aparece en el mástil es excesivo, por lo que se procede a optimizar dicho elemento.

Para finalizar, se ha realizado el dimensionamiento del cilindro hidráulico; las guías de nylon; y el bulón entre cilindro hidráulico y mástil, ya que son el resto de piezas que conforman la estructura. De esta manera, se ha completado el diseño de la PEMP para finalizar el estudio.

## ÍNDICE:

INTRODUCCIÓN .....	1
CONTENIDO .....	2
1. ESPECIFICACIONES Y LIMITACIONES DE DISEÑO .....	2
1.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS PEMP .....	2
1.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS PEMP SEGÚN LA NORMA UNE EN 280:2014 .....	3
1.1.2. CLASIFICACIÓN HABITUAL DE MERCADO .....	4
1.2. DISEÑO Y MODELADO .....	6
1.2.1. DEFINICIÓN PARTES PRINCIPALES DE LA PLATAFORMA .....	6
1.2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	7
1.2.3. MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN A TENER EN CUENTA EN LA FABRICACIÓN DE LA PLATAFORMA .....	9
1.2.4. ELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE LA PLATAFORMA .....	9
1.2.5. FACTOR DE SEGURIDAD .....	11
2. DISEÑO, ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE LA PEMP .....	12
2.1. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA PEMP (MEFI) .....	12
2.2. DISEÑO Y DIMENSIONADO PLATAFORMA DE LA PEMP (SOLIDWORKS) .....	20
2.3. ANÁLISIS ESTÁTICOS Y RESULTADOS .....	26
2.3.1. CONFIGURACIÓN DEL ANÁLISIS .....	26
2.3.2. ESTUDIO PARA CONFIGURACIÓN DE MALLADO .....	32
2.3.3. ESTUDIO DEL CONJUNTO DE LA ESTRUCTURA ELEVADORA (MÁSTIL Y PLATAFORMA) .....	63
2.3.4. OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURA DEL MÁSTIL .....	74
2.4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL CILINDRO HIDRÁULICO .....	80
2.5. DIMENSIONAMIENTO GUÍA DE NYLON .....	82
2.6. CALCULO DE BULÓN PARA ARTICULACIÓN SUPERIOR DEL CILINDRO .....	86
2.6.1. DIÁMETRO .....	86
2.6.2. ANCHURA DE CONTACTO .....	88
CONCLUSIONES .....	90
BIBLIOGRAFÍA .....	92
ANEXO .....	

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la **historia**, y poniendo como origen la revolución industrial se desarrollaron diversos mecanismos con el fin de cubrir las necesidades que van surgiendo en el mundo industrial. Aprovechando la evolución de las tecnologías, se han ido creando avances mecánicos capaces y seguros para la elevación de cargas y personas a diferentes alturas para poder realizar infinidad de tareas. Tomamos la hidráulica como la rama de la mecánica capaz de cumplir con el objetivo de elevar cargas a diferentes cotas y de este modo cubrir las necesidades actuales.

El **objetivo** del Trabajo Fin de Grado (a partir de ahora nombrado como TFG), se basa en plasmar los conocimientos adquiridos en criterios de diseño de máquinas, resistencia de materiales y mecánica de sólido deformables, asignaturas cursadas en el Grado de Ingeniería Mecánica. Dichos conocimientos, se trasladan a este trabajo por medio del diseño, dimensionado, cálculo y análisis de una plataforma elevadora telescópica móvil de personal (designada con las iniciales PEMP). Se hará uso de los programas MEF para un primer análisis de la estructura y SolidWorks para el modelado, análisis estático y optimización de la estructura. El conjunto de estos programas nos ayudará a realizar un estudio completo de la citada máquina elevadora.

El **alcance** del TFG, se focalizará en el estudio de algunas etapas del diseño de la estructura elevadora de una PEMP de estructura de mástil vertical y accionamiento hidráulico. Las etapas del estudio se dividen en selección del factor de seguridad, materiales, dimensionamiento y diseño. Para finalmente, verificar la funcionalidad de los diseños mediante simulación a través de los programas informáticos previamente nombrados.

Además, se realizará un análisis y dimensionamiento de dos elementos fundamentales de la estructura elevadora: cilindro hidráulico y guías de nylon situadas entre los perfiles del mástil

La **estructura** del TFG, podemos decir que se divide en dos partes claramente diferenciadas. Por un lado, se centra en una **parte teórica** donde se explican los diferentes tipos de máquinas del sector industrial, la normativa que caracteriza la fabricación de éstas, sus aptitudes y dimensiones. En esta parte, también se explican los programas informáticos de diseño asistido por ordenador a utilizar para la simulación de los elementos que conforman la PEMP. Por otro lado, se centra en una **parte práctica**, donde se muestran y se explican las diferentes simulaciones llevadas a cabo para encontrar los parámetros óptimos para el diseño de la PEMP.



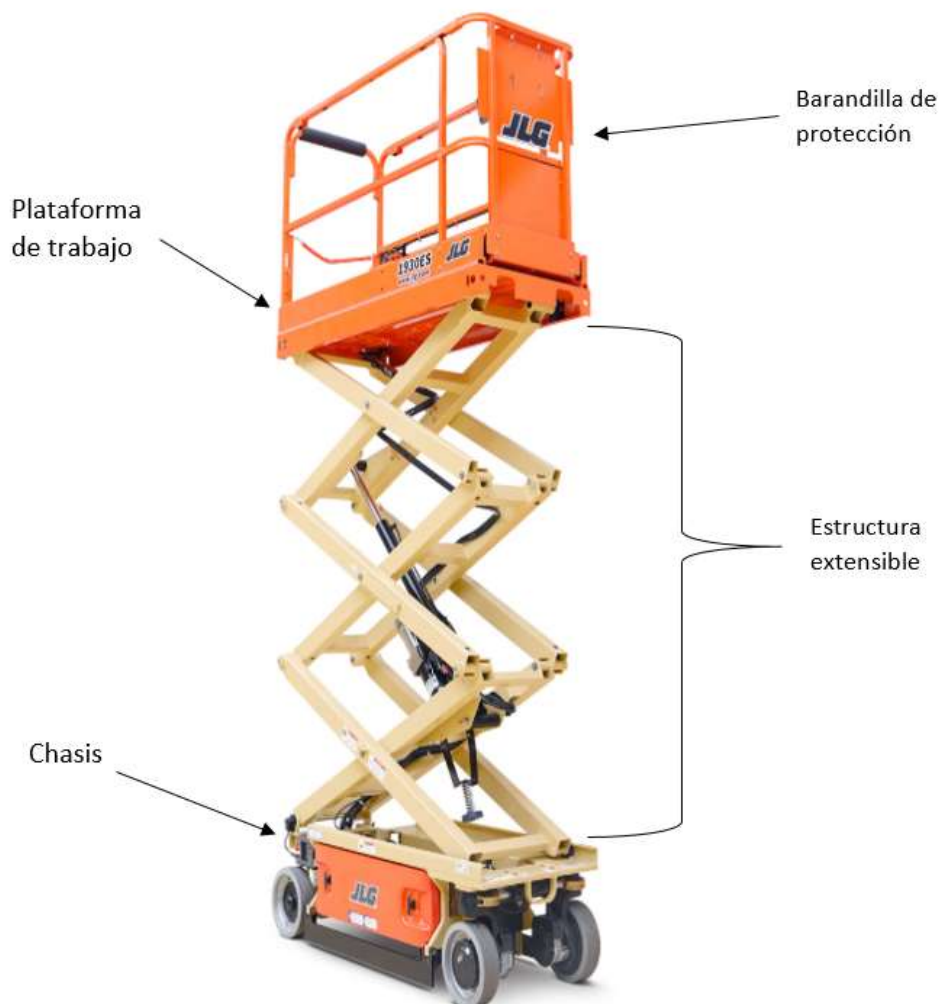
## CONTENIDO

### 1. ESPECIFICACIONES Y LIMITACIONES DE DISEÑO

#### 1.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS PEMP

Designada con sus iniciales, se conoce como PEMP, a las plataformas elevadoras móviles de personal.

Son máquinas móviles destinadas a desplazar a cierta altura a personas, equipos y herramientas hasta una posición determinada para realizar un trabajo desde la plataforma. Constituidas como mínimo por una plataforma de trabajo con controles, una estructura extensible y un chasis (*imagen 1*).



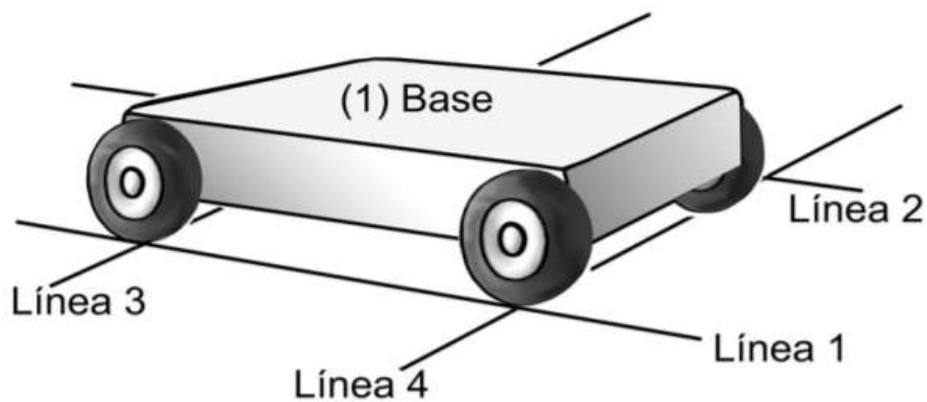
*Imagen 1: Partes principales que componen una PEMP.*

Su aplicación se centra en montajes industriales, mantenimiento, instalaciones eléctricas, etc.

### 1.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS PEMP SEGÚN LA NORMA UNE EN 280:2014

Según la norma UNE EN 280:2014 las PEMP se dividen en dos grupos principales en función de las líneas de vuelco. Las líneas de vuelco se definen como las que pasan por los puntos de apoyo, ya sean ruedas o estabilizadores, formando un paralelogramo (*Imagen 2*) (1).

- Grupo A: PEMP en las que la proyección vertical del centro de gravedad de la carga está siempre en el interior de las líneas de vuelco (*Imagen 3*).
- Grupo B: PEMP en las que la proyección vertical del centro de gravedad de la carga puede estar en el exterior de las líneas de vuelco (*Imagen 3*).



*Imagen 2: Líneas de vuelco.*

Dentro de cada grupo, en función de sus posibilidades de traslación, las PEMP se dividen en tres tipos (*Imagen 3*) (1):

- Tipo 1: la traslación sólo es posible si la PEMP se encuentra en posición de transporte.
- Tipo 2: la traslación con la plataforma de trabajo en posición elevada sólo se controla por un órgano situado sobre el chasis.
- Tipo 3: la traslación con la plataforma de trabajo en posición elevada se controla por un órgano situado sobre la plataforma de trabajo.

Nota: Se pueden encontrar los tipos 2 y 3 en la misma máquina de trabajo.



Imagen 3: Clasificación de PEMP según la norma UNE 280:2014.

### 1.1.2. CLASIFICACIÓN HABITUAL DE MERCADO

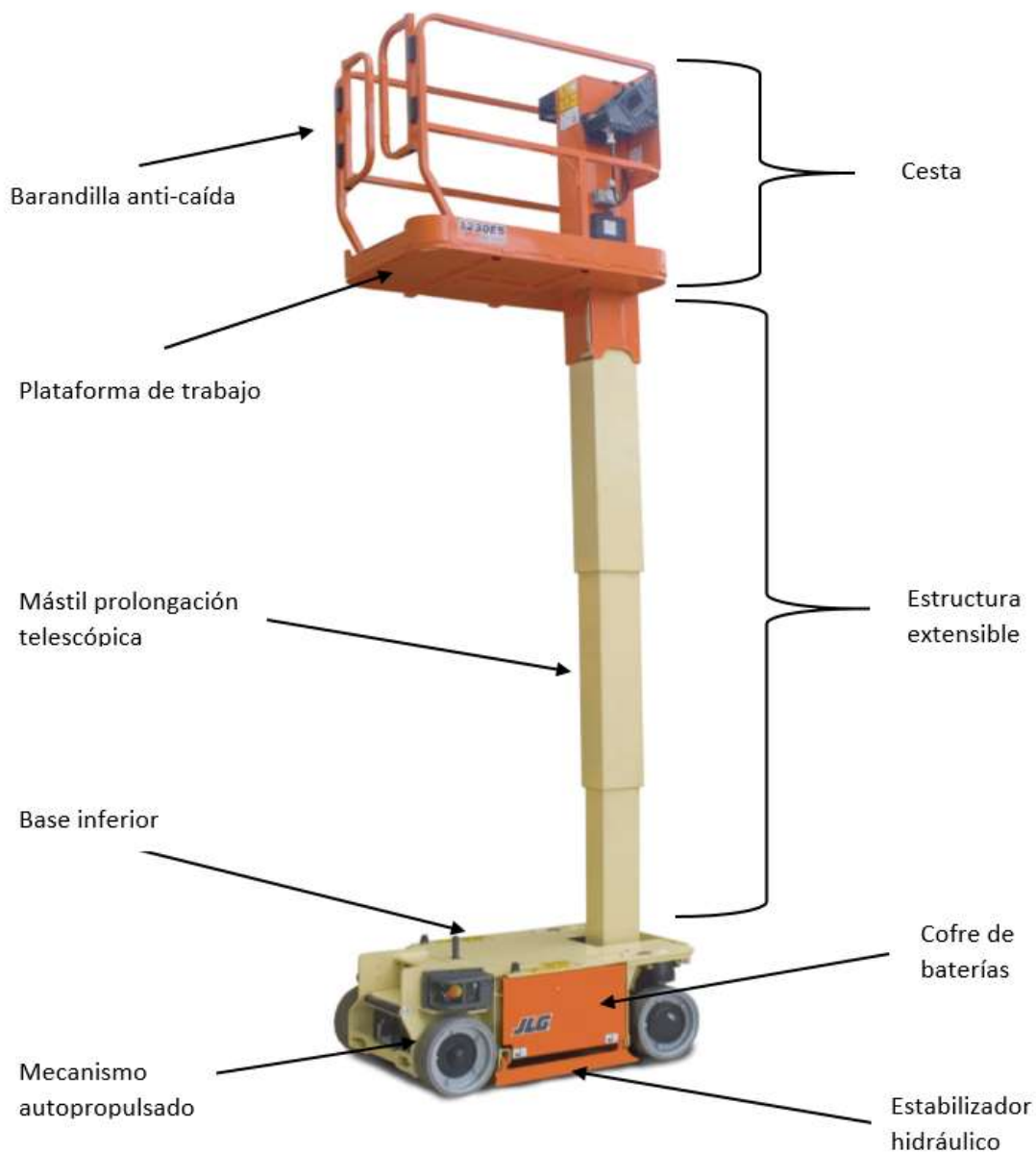
Dentro de las diferentes clasificaciones habituales en el mercado, nos centramos en la clasificación en cuanto a la morfología de las PEMP. Según morfología, éstas se clasifican en 4 tipos de plataformas (1):

- Plataforma de brazo telescópico: Gran altura de elevación distanciándose de la base de la plataforma.
- Plataforma de brazo articulado: Elevación a gran altura con diversidad de posiciones en referencia a la base.
- Plataforma de tijera: Elevación vertical con gran capacidad en la plataforma de trabajo.
- Plataforma de mástil vertical: Elevación vertical en espacio reducido.

En este trabajo se ha seleccionado para su estudio, la **plataforma de mástil vertical** (*imagen 4*).

Éstas son idóneas para lugares con difícil acceso ya que la estructura es extensible y su altura de trabajo puede llegar hasta los 10m, según el modelo. Se utilizan para trabajos discontinuos y puede darse tanto para trabajos en interior como en exterior.

Según la clasificación de la norma UNE citada anteriormente, las PEMP con plataforma de mástil vertical forman parte del GRUPO A ya que la plataforma de trabajo permanece dentro de las líneas de vuelco y TIPO 3 debido a que el desplazamiento y elevación de la plataforma de trabajo se realiza mediante mandos situados dentro de ésta (1).



*Imagen 4: Plataforma elevadora móvil de personal (PEMP) telescópica de mástil vertical.*

## 1.2. DISEÑO Y MODELADO

### 1.2.1. DEFINICIÓN PARTES PRINCIPALES DE LA PLATAFORMA

Valorando la variedad de fabricantes y modelos de PEMP de mástil vertical autopropulsados que nos encontramos en el mercado, se ha elegido la que más presencia tiene en el mundo laboral, debido a sus reducidas dimensiones cuando se encuentra en posición de reposo y capaz de alcanzar alturas necesarias para la realización de infinidad de trabajos. Nos referimos al modelo **1230ES** del fabricante de plataformas elevadoras JLG. A continuación se detallan las características y ventajas del modelo de referencia (2):

- Ultra-compacto, cabe en un montacargas.
- Ligero, permitiendo su uso en suelos sensibles al peso.
- Gran autonomía de trabajo que incrementa su operatividad y eleva la productividad, gracias a la súper-eficiente propulsión eléctrica.
- 230 Kg de capacidad, para cargar con el operario y las herramientas incluso en la altura máxima de funcionamiento.
- Incrementa la productividad del trabajo gracias a la rapidez de sus movimientos.
- Disminuye los costes de mantenimiento, debido a que el mecanismo hidráulico que utiliza reduce las necesidades de mantenimiento y en gran medida la posibilidad de fugas hidráulicas.

La utilización de este tipo de elevadores autopropulsados agiliza en gran medida las tareas que se pretenden realizar, facilitando la libertad de movimientos por el área de trabajo sin la necesidad de montar andamios en las zonas y alturas que se pretende trabajar. Cabe destacar como algo positivo la figura de la plataforma de trabajo, como una zona amplia y segura, con la cabida necesaria para acopiar las herramientas y materiales indispensables para la realización de los trabajos, sin la necesidad de tener que bajar hasta el suelo a por ellos.

La seguridad en el puesto de trabajo es un factor muy importante a tener en cuenta, por lo que la mayoría de plataformas elevadoras disponen de medidas y dispositivos de seguridad acopladas a su estructura. Como principales medidas de seguridad estructurales que dispone la máquina en cuestión, destacamos la barandilla anti-caída localizada en la plataforma de trabajo que evita que el trabajador se precipite al vacío mientras realiza el trabajo. Otra medida de seguridad a tener en cuenta son los estribos de sustentación, también conocidos como estabilizadores hidráulicos que se encuentran en los laterales del chasis, estos se despliegan cuando se encuentra la plataforma elevada y la máquina parada en posición de trabajo proporcionando mayor estabilidad ante el vuelco a la máquina.

Haciendo referencia al modelo elegido (1230ES JLG) para desarrollar su diseño, antes de iniciar a modelar las piezas que la forman, es necesario conocer y definir de forma genérica las partes y piezas que integran este tipo de plataformas elevadoras

A continuación, se definen las partes principales, así como las que se modelaran más adelante para un mejor conocimiento (2).

Partes principales:

- Chasis: Estructura principal de la máquina, que sustenta, da rigidez y forma al mecanismo completo de la máquina.
- Mecanismo autopropulsor: Elemento que se sitúa directamente acoplado al chasis, es el encargado de aportar el desplazamiento a la máquina. Puede ser accionado mediante energía mecánica (combustión) o eléctrica, esta última es la más utilizada para este tipo de plataformas elevadoras.
- Cofre de baterías: Acopio donde se almacena la energía eléctrica en baterías, para cuando se requiera su uso, ya sea para desplazamientos como para movimientos de la plataforma de trabajo.
- Estabilizadores: Sistema de seguridad integrado en los laterales del chasis para proporcionar un aumento de estabilidad. Su uso se activa únicamente cuando la plataforma de trabajo está elevada y no hay desplazamiento de la máquina.
- Base inferior: Plataforma visible que forma parte del chasis y actúa como punto de descanso cuando la plataforma de trabajo está en su posición de reposo.
- Cesta: conjunto de las partes que se elevan y forman la zona de trabajo. Compuesto por plataforma de trabajo, barandillas y mandos.

Definición de las partes a modelar:

- Estructura extensible: Formada principalmente por vigas de geométrica cuadrada y huecas unidas al chasis, que incorporan en su interior el mecanismo de elevación para la plataforma de trabajo que la situará en la posición que el trabajador desee. Se compone de un mástil fijo y tres mástiles móviles que se accionan de manera hidráulica.
- Plataforma de trabajo: Base en la cual los operarios se suben para realizar el trabajo, situada en el extremo móvil de la estructura extensible. Forma el suelo del conjunto de la cesta, por lo que tiene que ser una base estable, rígida y que soporte cargas.
- Barandilla: Parte que compone la cesta y que su principal función es incrementar la seguridad al trabajador, evitando que pueda precipitarse mientras está realizando el trabajo. Dispone de una barrera móvil para facilitar el acceso al interior de la cesta.

### 1.2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las características técnicas del modelo seleccionado de PEMP, se definen (*imagen 5*) (2):

- Altura de plataforma (elevada): 3,66 m con el mástil extendido.
- Altura de trabajo: 5,66 m, si desglosamos esta cota se tiene en cuenta la altura de la plataforma elevada 3,66 m y la altura del operario con los brazos alzados 2 m, en una posición idónea para realizar el trabajo

- Carga: la capacidad de carga son 230kg. Se tiene en cuenta el peso de una persona con herramientas y equipo para realizar el trabajo.

$$m = n \times mp + me$$

$$m = 1 \times 80 + 150 = 230Kg$$

m: masa total de carga.

n: número de personas para la que está diseñada la plataforma.

mp: masa media de una persona.

me: masa de equipos y herramientas de trabajo.

- Velocidad de elevación y descenso: El desplazamiento desde la plataforma en reposo hasta el punto más alto de extensión se realiza en un tiempo de 12 segundos.

## 1230ES MAST LIFTS

Altura Trabajo	5,66 m
A. Altura de plataforma (Elevada)	3,66 m
B. Altura de plataforma (Recogida)	0,52 m
C. Ancho del carril de la plataforma	1,10 m
D. Altura de almacenaje	1,65 m
E. Dimensiones de plataforma (A x L)	0,69 m x 1,26 m
F. Longitud total	1,36 m
G. Anchura total	0,76 m
H. Distancia entre ejes	1,04 m
I. Distancia al suelo	6,5 cm
Capacidad 1	230 kg
Velocidad de elevación/descenso	12 / 12 sec.
Máxima altura de traslación	3,66 m
Peso total 2	790 kg

<sup>1</sup> Capacidad - 1 persona + herramientas y equipamiento hasta un máximo de 230 Kg.

<sup>2</sup> Ciertas opciones o normativas de cada país puede aumentar el peso y/o dimensiones.

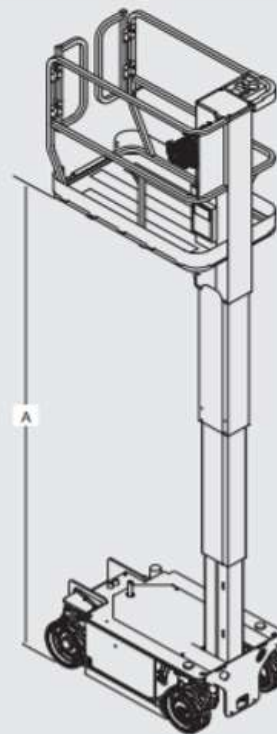
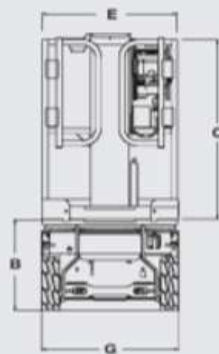
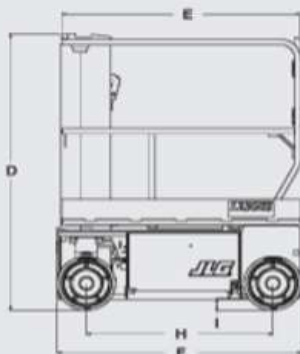


Imagen 5: Especificaciones técnicas JLG modelo 1230ES.

### 1.2.3. MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN A TENER EN CUENTA EN LA FABRICACIÓN DE LA PLATAFORMA

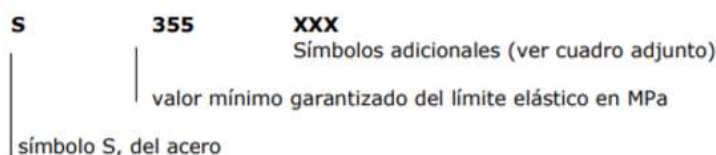
Para el diseño de la plataforma nos regimos a la norma UNE-EN 280, la cual especifica las medidas de seguridad relacionadas con la estructura de la plataforma, que es la zona de trabajo donde se aloja el trabajador. Dichas medidas de seguridad son, la altura de la barandilla, la cual debe estar a una altura mínima de 1100mm, un zócalo o rodapié de 150mm de altura, y una barandilla intermedia situada a 550mm del zócalo o barandilla superior.

La excepción en estas medidas puede darse en el punto de acceso de la plataforma, pudiendo reducir la altura del zócalo a 100mm.

Dicha norma también hace referencia a las fuerzas que debe soportar la estructura de la plataforma. La barandilla superior debe soportar una fuerza específica de 500N por persona aplicada en los puntos y dirección más desfavorable, sin producir una deformación permanente (3).

### 1.2.4. ELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE LA PLATAFORMA

Existe una designación simbólica de los aceros, establecida por la norma UNE-EN 10027-1, que se compone de números y letras (*imagen 6*) que expresan características importantes como pueden ser mecánicas, químicas, físicas, de aplicación necesarias para establecer una designación abreviada de los aceros.



*Imagen 6: Designación simbólica de los aceros*

Los aceros para construcciones metálicas se designan con la letra S (Steel, acero en inglés), seguido de un número que indica el valor mínimo del límite elástico en MPa y finalmente les acompaña el grado (referencia a la resiliencia) que son los símbolos adicionales que describen la aplicación óptima para cada tipo de acero (*imagen 7*) (4).



### Símbolos adicionales para los aceros de construcción

Símbolos adicionales para los aceros de construcción				
GRUPO 1			GRUPO 2	
Características de flexión por choque en Julios (J)			C= Conformado especial en frío D= Galvanización en caliente E= Esmaltado F= Forjado H= Perfil hueco L= Baja temperatura M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización P= Tablestacas Q= Templado y revenido S= Construcción naval T= Tubos W= Resistentes a la corrosión atmosférica	
27J	40J	60J		°C
JR	KR	LR		20
J0	K0	L0		0
J2	K2	L2		-20
J3	K3	L3		-30
J4	K4	L4		-40
J5	K5	L5		-50
J6	K6	L6		-60
A= Endurecimiento por precipitación M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización Q= Templado y revenido G= Otras características				
Nota: los símbolos A, M, N y Q se aplican a los aceros de grano fino				

El uso de los distintos grados del acero es el siguiente:

- Grado JR: aplicación en construcción ordinaria
- Grado J0: aplicación en construcción con altas exigencias de soldabilidad
- Grado J2: aplicación en construcción con especiales exigencias de resistencia, resiliencia y soldabilidad

Imagen 7: Símbolos adicionales para los aceros de construcción.

Las características mecánicas de los aceros según UNE-EN 10025 son (4):

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura ens. Charpy °C
	Tensión de límite elástico $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )			Tensión de Rotura $F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR S235J0 S235J2	235	225	215	360	20 0 -20
S275JR S275J0 S275J2	275	265	255	410	20 0 -20
S355JR S355J0 S355J2 S355K2	355	345	335	470	20 0 -20 -20 (1)
S450J0	450	430	410	550	0

Imagen 8: Características mecánicas de los aceros.

Para el presente proyecto, se seleccionará un acero común utilizado para construcciones ordinarias, el S275JR. El acero escogido, es de fácil soldabilidad y tiene un límite elástico de 275MPa que se adecua perfectamente a nuestras necesidades de diseño (*imagen 8*) (5).

### 1.2.5. FACTOR DE SEGURIDAD

El coeficiente de seguridad es un factor que nos garantiza la funcionalidad del diseño si aparecen desviaciones inciertas o desconocidas. De esta manera, se tiene la ventaja de disponer de un margen extra de prestaciones del diseño por encima de las mínimas necesarias.

Ya que para la determinación del coeficiente de seguridad no existen parámetros que establezcan normas claras al respecto, se hace uso del método de Pugsley (*imagen 9*), el cual a través de una ecuación podemos determinar qué valor es el adecuado para nuestro diseño (6).

$$n_s = n_{xx} \times n_{yy}$$

$n_{xx}$ : Factor de seguridad que involucran características A, B Y C

$n_{yy}$ : Factor de seguridad que involucran características D y E

A: Calidad de los materiales.

B: Control sobre la carga aplicada.

C: Exactitud del análisis del esfuerzo.

D: Peligro para el personal.

E: Impacto económico.

Característica			B			
			mb	b	r	p
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=	mb	1.7	2.05	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95
mb= muy bien			b= bien			
r= regular			p= pobre			

Característica		D		
		ns	s	ms
E=	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6
ms= muy serio		s= serio	ns= no serio	

*Imagen 9: Tabla de evaluación del factor de seguridad según método Pugsley.*

Resultados para modelo 1230ES JLG:

A: Calidad de los materiales: b (bien)

B: Control sobre la carga aplicada: b (bien)

C: Exactitud del análisis del esfuerzo: r (regular)  
D: Peligro para el personal: ms (muy serio)  
E: Impacto económico: s (serio)  
 $n_{xx} = 1,95$   
 $n_{yy} = 1,5$

Coeficiente de seguridad según Pugsley:

$$n_s = 1,95 \times 1,5 = 2,925 \approx 3$$

Según el método de Pugsley el coeficiente de seguridad que debemos utilizar para nuestro proyecto es 2,925. Redondeando a número entero, trabajaremos con **factor de seguridad 3**.

## 2. DISEÑO, ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE LA PEMP

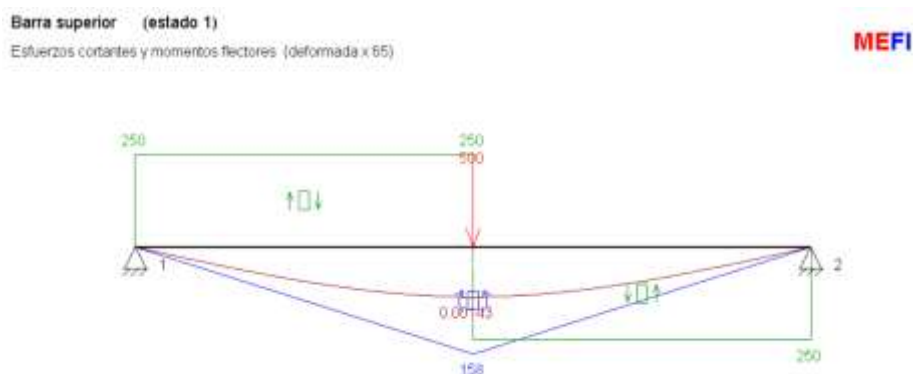
### 2.1. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA PEMP (MEFI)

Procedemos a dimensionar la plataforma elevadora, eligiendo un perfil en MEFI que se podría considerar válido (por sus dimensiones) para este caso práctico y un material que cumple las características de un acero resistente y soldable, elegido anteriormente (S275JR). Una vez analizado dicho perfil con MEFI, la condición de diseño nos determinará si el perfil seleccionado es válido para dicha función en la plataforma (7).

- Barandilla superior del perímetro de la cesta.

Realizamos el análisis de esfuerzos (*imagen 10*) por libre de la barra superior de la cesta. Este caso corresponde a una viga biapoyada, y que según la norma debe soportar una carga puntual de 500N en el punto más desfavorable, siendo este punto el centro de la viga.

Se selecciona un perfil cuadrado y hueco con medidas 40x40x2 y un material acero S275JR, óptimo para aplicación soldada en aplicaciones ordinarias.



*Imagen 10: Esfuerzos cortantes y momentos flectores*

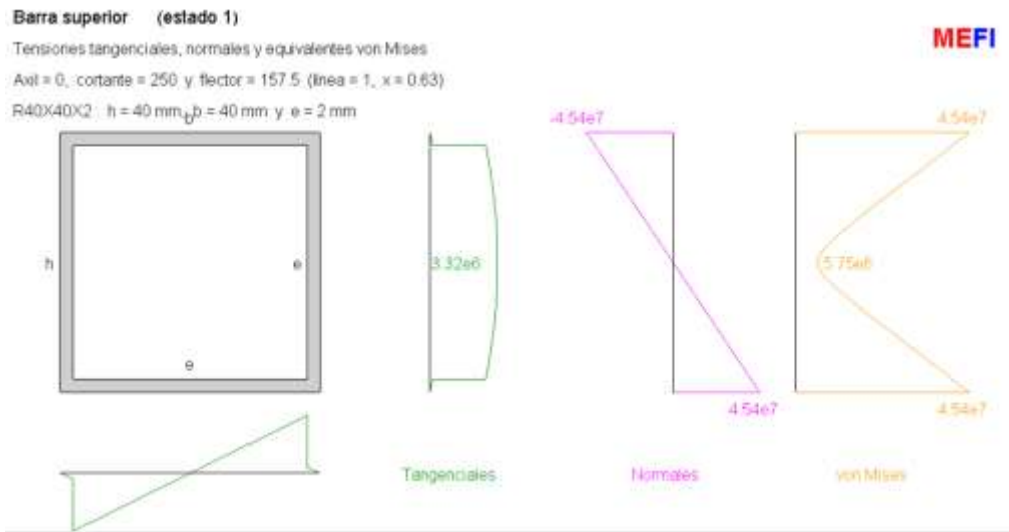


Imagen 11: Tensiones tangenciales, normales y equivalentes von Mises

Límite elástico del acero S275JR: 275 MPa.

Coeficiente de seguridad: Aplicando el método de Pugsley.

$$C_s = 3$$

#### Condición de diseño:

$$|\sigma_{VM}| < \frac{\text{Límite elástico}}{C_s} \quad |45,7| < \frac{275}{3} \quad |45,7 \text{ MPa (Diagrama de Von Misses)}| < 91,7 \text{ MPa}$$

Podemos afirmar que el material y el perfil seleccionado cumplen la ecuación de condición de diseño.

Donde  $\sigma_{VM}$  es la tensión equivalente de Von Mises (en una viga).

$$|\sigma_{VM}| = \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}$$

Si desglosamos la fórmula de la tensión equivalente en una viga tenemos que:

- $\sigma_x$ , es la tensión normal en la sección más solicitada debida a esfuerzo axil y a momento flector.

$$\sigma_x = \frac{N}{A} - \frac{M_z I_y + M_y I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} y + \frac{M_y I_z + M_z I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} x$$

Momento en el eje Y no hay, por tanto,  $M_y = 0$

Se trata de flexión compuesta en el plano  $x, y$  y además, en ejes principales de inercia ( $M_y = I_{yz} = 0$ )

$$\sigma_x = \frac{N_x}{A} - \frac{M_z}{I_z} y = \frac{N}{A} - \frac{M_z}{I_z} y_{max} = \frac{N}{A} - \frac{M_z}{W_z}$$

- $\tau_{xy}$ , es la tensión tangencial debida a esfuerzos cortantes (en viga cerrada de pared delgada).

$$\tau_{xy} = \frac{q_c}{e}$$

Donde  $q_c$  es el flujo cortante y  $e$  es el espesor de la sección

- Barra vertical de la barandilla de la cesta.

Se realiza el análisis de esfuerzos por libre del perfil vertical con las mismas dimensiones seleccionadas para la barandilla horizontal **R40x40x2**, se comprueba que el desplazamiento del punto superior es mayor que el límite de desplazamiento

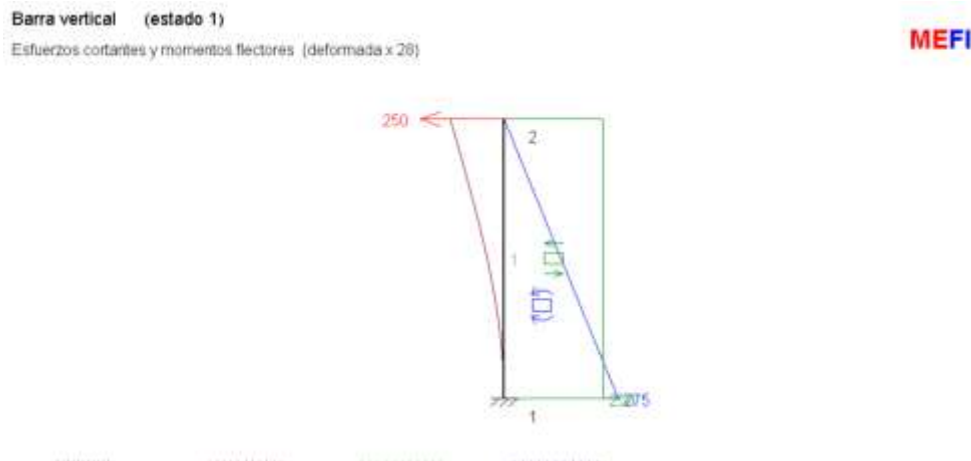


Imagen 12: Esfuerzos cortante y momentos flectores

$$\text{Límite desplazamiento} \leq \frac{\text{Longitud del elemento}}{250} = \frac{1100\text{mm}}{250} = 4,4\text{mm}$$

estado 1							
pun	desx	desy	gir2	reax	reay	momZ	
1	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	2.5000e+02	0.0000e+00	-2.7450e+02	
2	-7.5898e-03	0.0000e+00	1.0340e-02				
lin	punIni	punFin	ax1Ini	ax1Fin	corIni	corFin	fleIni
			fleIni	fleFin	desIni	desFin	
1	1	2	0.0000e+00	0.0000e+00	-2.5000e+02	-5.9307e-06	2.7450e+02
			0.0000e+00	0.0000e+00			7.5898e-03
tensión equivalente von Mises máxima							
7.9107e+07							

Imagen 13: Desplazamiento

Como se puede comprobar en los resultados obtenidos en MEF1 el desplazamiento en el punto más desfavorable de la barra vertical de la cesta es 7,5898mm. Por tanto, al superar el límite de desplazamiento (4,4 mm) se procede a probar con un perfil de mayor sección.

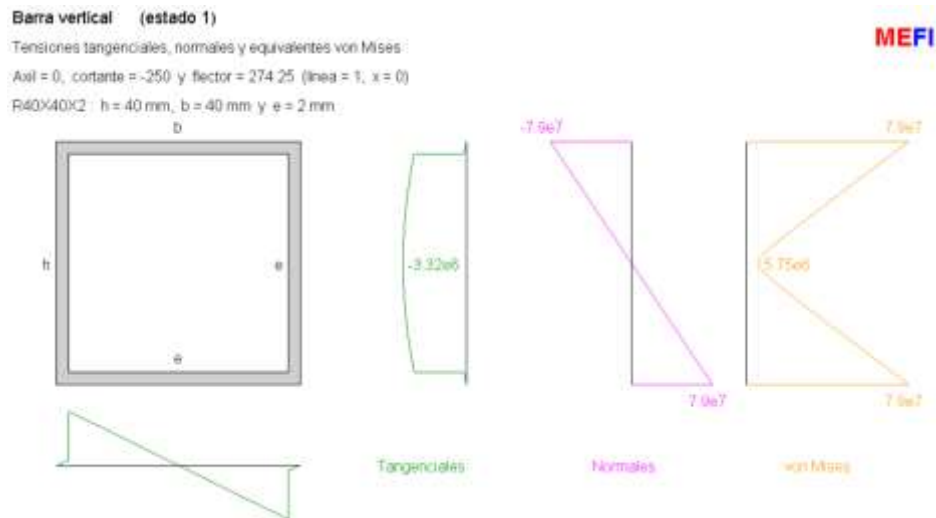


Imagen 14: Tensiones tangenciales, normales y equivalentes von Mises

Se procede a aumentar las dimensiones del perfil **R50x50x2**, para no superar el límite de desplazamiento.

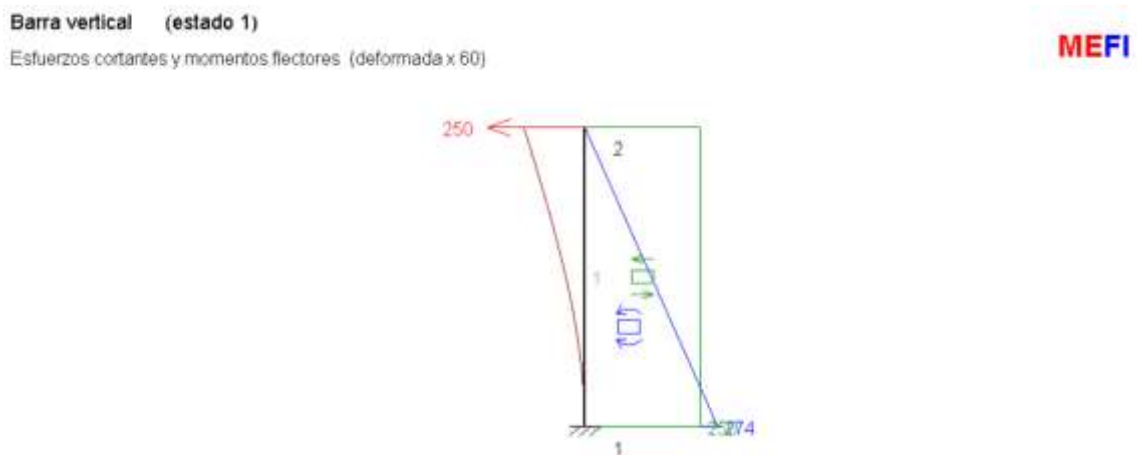


Imagen 15: Esfuerzos cortante y momentos flectores

estado 1							
pun	desX	desY	girZ	reaX	reaY	momZ	
1	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	2.5000e+02	0.0000e+00	-2.7425e+02	
2	-3.7306e-03	0.0000e+00	5.0802e-03				
lín	punIni	punFin	axiIni	axiFin	corIni	corFin	fleIni
			fleIni	fleFin	desIni	desFin	
1	1	2	0.0000e+00	0.0000e+00	-2.5000e+02	7.2420e-06	2.7425e+02
			0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	3.7306e-03	
tensión equivalente von Mises máxima							
4.8626e+07							

Imagen 16: Desplazamiento

$$\text{Límite desplazamiento} \leq \frac{\text{Longitud del elemento}}{250} = \frac{1100\text{mm}}{250} = 4,4\text{mm}$$

Como se puede comprobar en los resultados obtenidos en MEF1 el desplazamiento (imagen 16) en el punto más desfavorable de la barra vertical de la cesta es 3,7306mm. Por tanto, al no superar el límite de desplazamiento (4,4 mm) se considera válido.

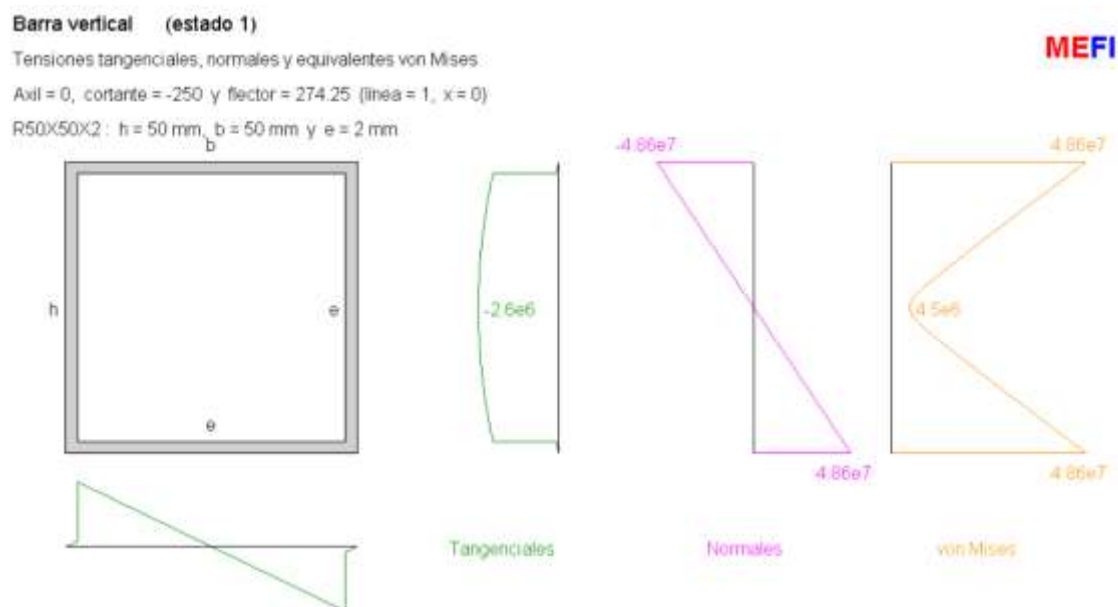


Imagen 17: Tensiones tangenciales, normales y equivalentes von Mises

Haciendo el diagrama de sólido libre la barra suelta se han realizado pruebas hasta encontrar un perfil que cumpla con los límites de desplazamiento. Que más adelante se volverá a analizar el conjunto de barras, ya que dicho análisis puede resultar engañoso debido a que dicha barra

conforma una estructura que analizada en conjunto tendrá una tensión y desplazamiento inferior.

- Conjunto barra vertical y barra longitudinal aplicando carga vertical

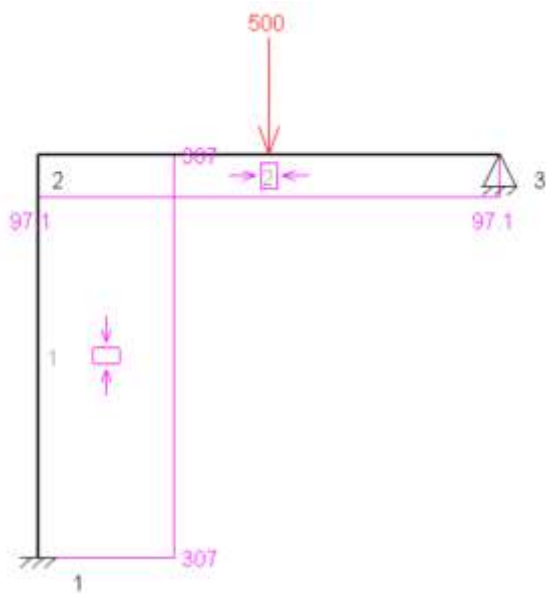


Imagen 18: esfuerzos axiales

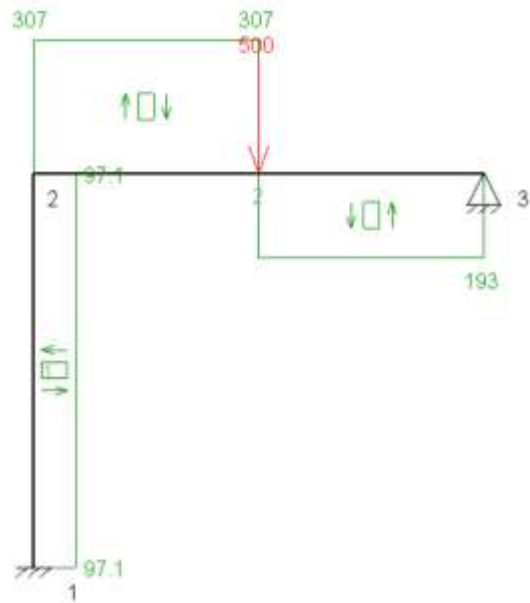


Imagen 19: esfuerzos cortantes

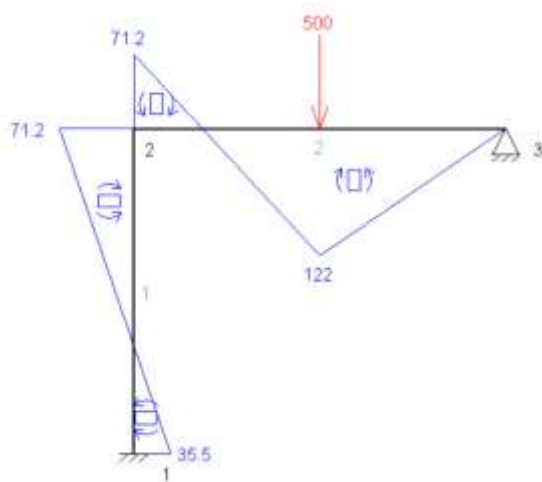


Imagen 20: Momentos flectores

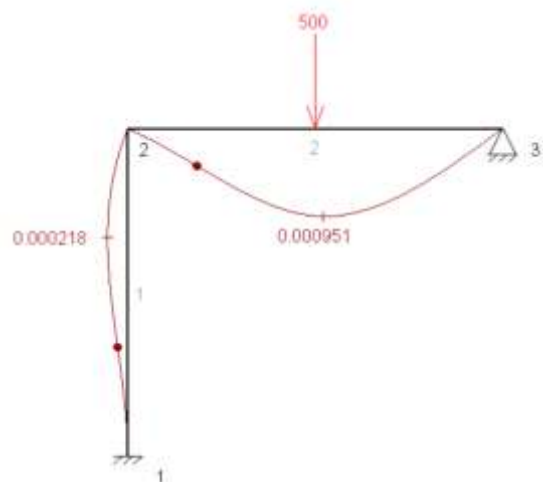


Imagen 21: Deformada

Según los resultados de MEF, el perfil seleccionado R40x40x2 cumple con los criterios de seguridad (criterio de plastificación de von Mises y límite de desplazamiento).



### Von Mises

En la sección más solicitada (punto medio de la barra horizontal), la tensión de von Mises es 35,5MPa, que es menor que 91,67MPa (límite elástico del material aplicándole un coeficiente de seguridad de 3).

$$C_{s_{trabajo}} = \frac{\text{Límite elástico}}{\sigma_{VM}} = \frac{275 \text{ MPa}}{35,5 \text{ MPa}} = 7,75$$

Con la sección escogida se estaría trabajando con un coeficiente de seguridad de 7,75 mucho mayor que el coeficiente de seguridad mínimo que se ha impuesto (3).

### Límite de desplazamiento

$$\text{Límite desplazamiento (barra horizontal)} \leq \frac{\text{Longitud del elemento}}{250} = \frac{1,26m}{250} = 5,04 \text{ mm}$$

$$\text{Límite desplazamiento (barra vertical)} \leq \frac{\text{Longitud del elemento}}{250} = \frac{1,1m}{250} = 4,4mm$$

En los resultados de MEFI, se observa que el máximo desplazamiento de la barra longitudinal es 0,951 mm y el de la barra vertical es 0,218 mm, ambos están muy por debajo del límite.

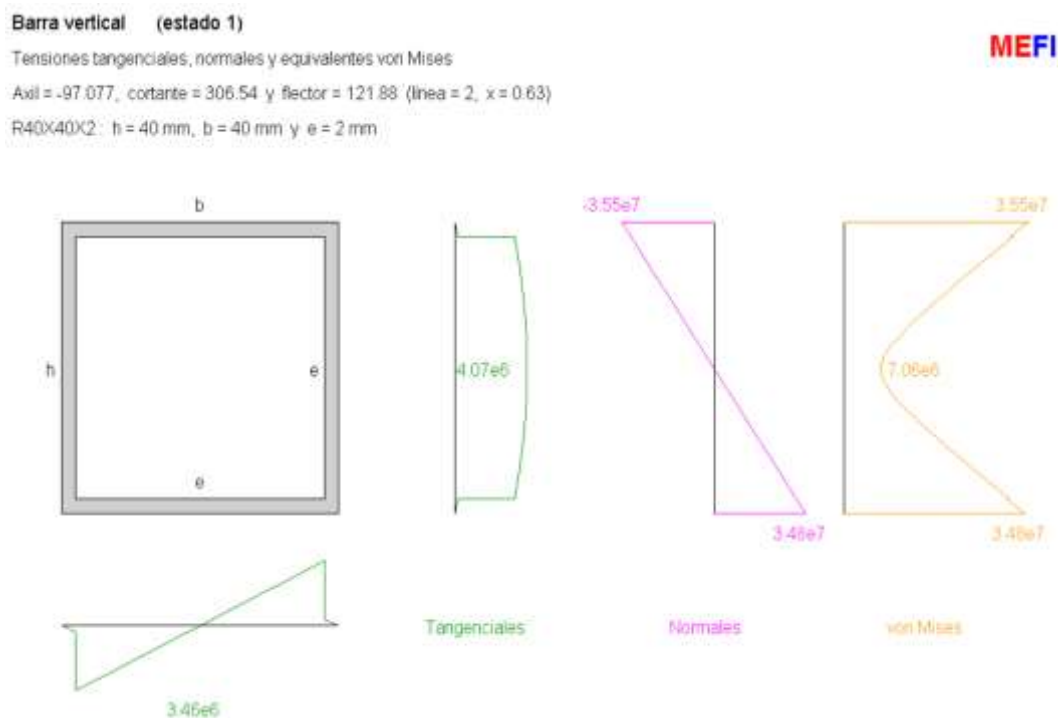
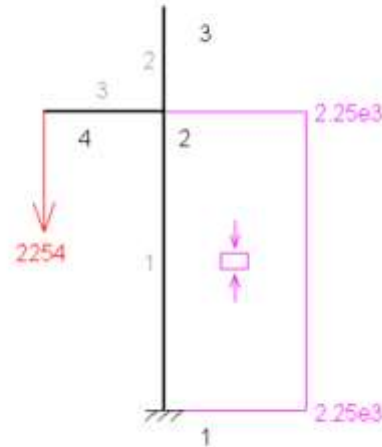


Imagen 22: Tensiones tangenciales, normales y equivalentes von Mises

- Plataforma y mástil aplicando una carga de 230kg (Operario + equipo + herramientas)

**Mástil (estado 1)**

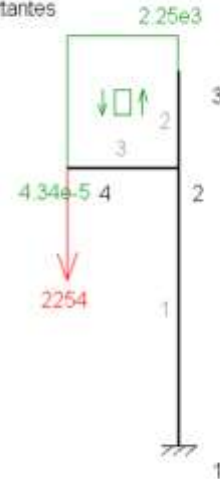
Esfuerzos axiales



*Imagen 23: esfuerzos axiales*

**Mástil (estado 1)**

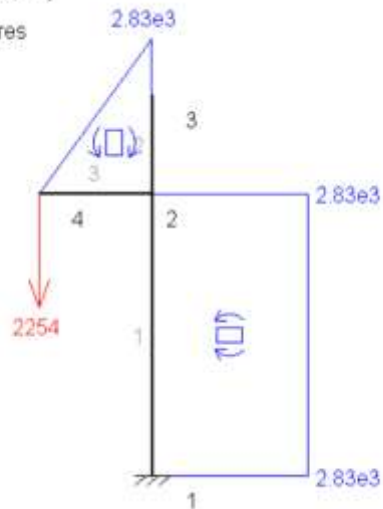
Esfuerzos cortantes



*Imagen 24: esfuerzos cortantes*

**Mástil (estado 1)**

Momentos flectores



*Imagen 25: esfuerzos axiales*

**Mástil (estado 1)**

Deformada x 86



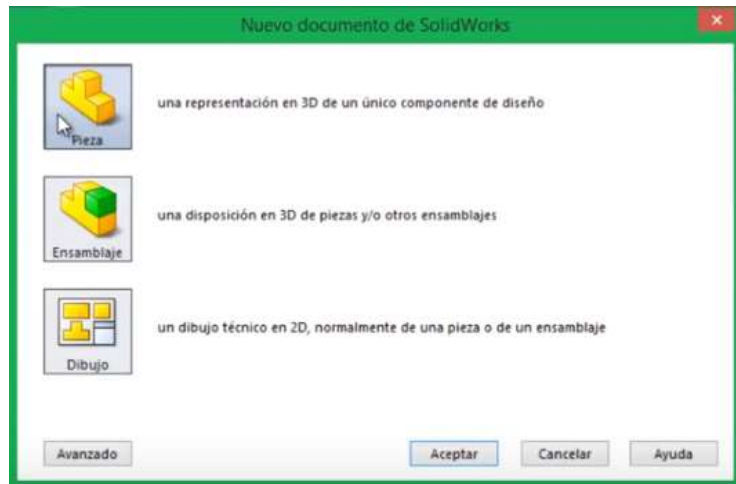
*Imagen 26: esfuerzos cortantes*

Haciendo un primer análisis del conjunto plataforma y mástil mediante MEF, obtenemos el momento flector que crea al aplicar una carga de  $230\text{kg} = 2254\text{N}$ . La carga es aplicada en el extremo de la plataforma, lado contrario al mástil, que es el punto más desfavorable de la plataforma. Se obtiene un momento flector de  $2830\text{MPa}$ .

## 2.2. DISEÑO Y DIMENSIONADO PLATAFORMA DE LA PEMP (SOLIDWORKS)

Para el modelado y dimensionado de la plataforma se ha utilizado el programa SolidWorks. Este programa permite modelar piezas y conjuntos, y funciona como base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD.

En el presente proyecto se trabajara con el archivo de “pieza” (imagen 27), que se resume en una representación en 3D de un único componente de diseño. Se estudiará el diseño con el conjunto de la plataforma.



*Imagen 27: Ventana nuevo documento*

El modelado de la plataforma se realiza a través de superficies, partiendo de la base de un croquis. Esta función del SolidWorks nos permitirá más adelante realizar el análisis estático de la plataforma introduciendo el espesor de cada pieza.

Una vez que SolidWorks crea un entorno de trabajo, se selecciona el plano en el que vamos a trabajar.

Se dibuja el croquis de la **base de la plataforma** (imagen 28), a través del comando “croquiza un rectángulo”. Posteriormente se procede a realizar los redondeos en los vértices de la base, con la herramienta “croquiza un arco de 3 puntos” y se introducen las cotas que tendrá la base de la plataforma para generar con las medidas correctas la superficie base de la plataforma.

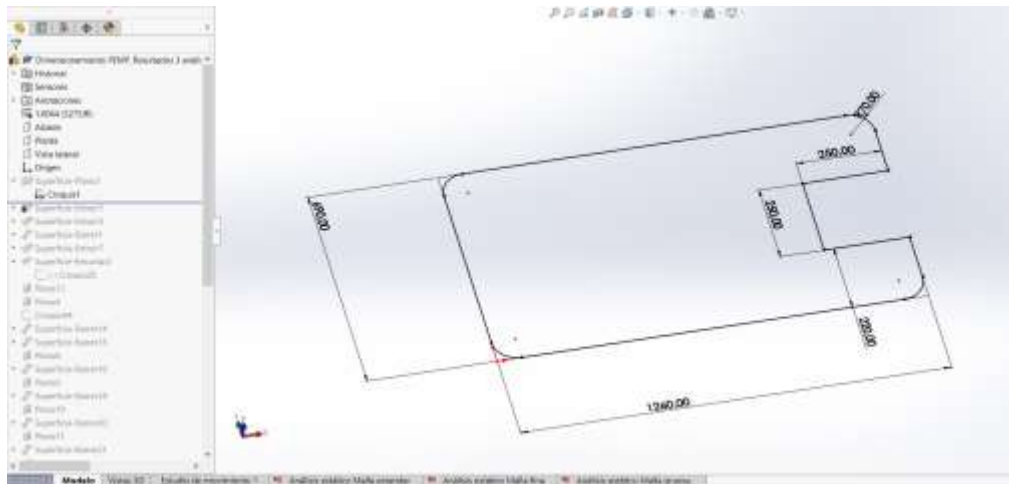


Imagen 28: Croquis de la base de la plataforma

Una vez tenemos el croquis de perímetro de la base validado, el siguiente paso es crear la superficie plana (imagen 29) que formara la base, para ello seleccionamos INSERTAR en la barra de menús. En el desplegable iremos a SUPERFICIE y elegiremos la opción PLANA.

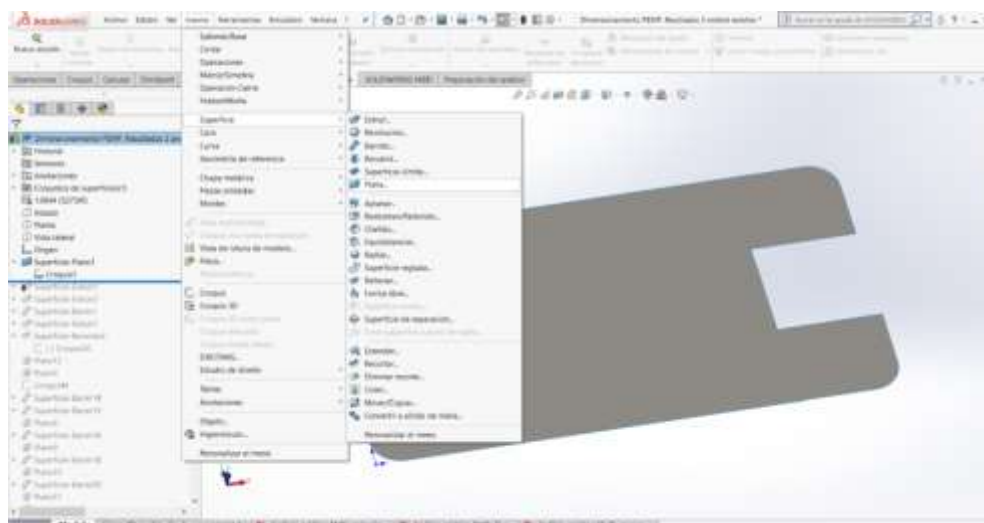


Imagen 29: Insertar superficie plana

A continuación de la base, se realiza el **mástil** (imagen 30) donde va sustentada toda la estructura de la cesta elevadora. Se dibuja un croquis cuadrado en la base, donde irá situado el mástil superior. Con el comando EXTRUIR situado dentro de SUPERFICIE, nos indica que debemos seleccionar el elemento que deseamos extruir, en este caso el croquis previamente dibujado. Por último revelaremos la dirección y la longitud del mástil.

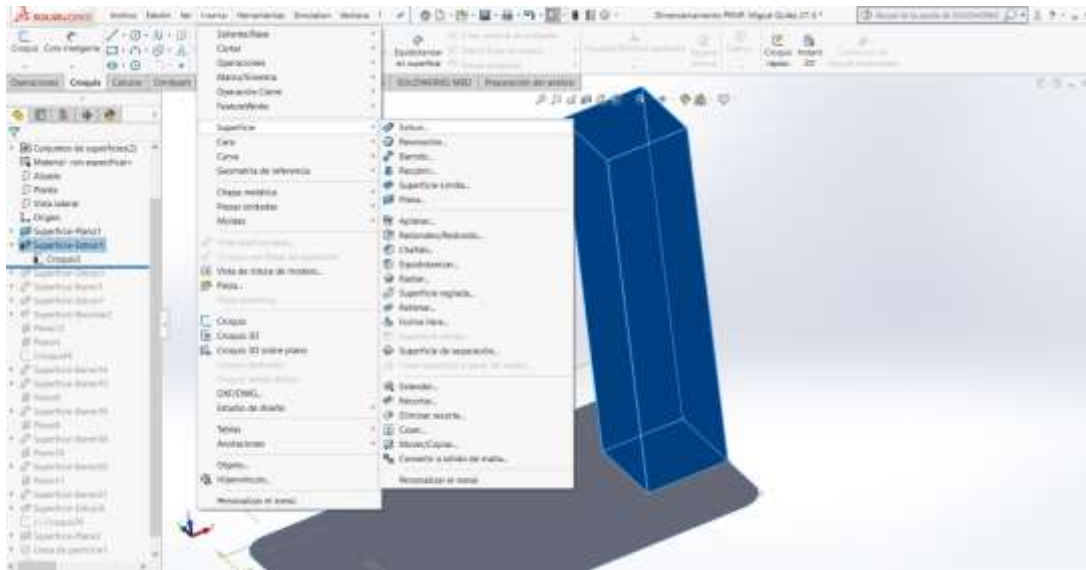


Imagen 30: extrusión del mástil

La plancha de la base dispone de un **refuerzo** (imagen 31) situado por todo su perímetro hasta unirse con el perfil del mástil. Dicho refuerzo es creado a través de la herramienta BARRIDO situada dentro de la barra de menús INSERTAR – SUPERFICIE – BARRIDO.

Se crean dos croquis, el primero será la forma que tendrá el elemento que queremos que sea barrido y el segundo croquis será la ruta que debe seguir el barrido.

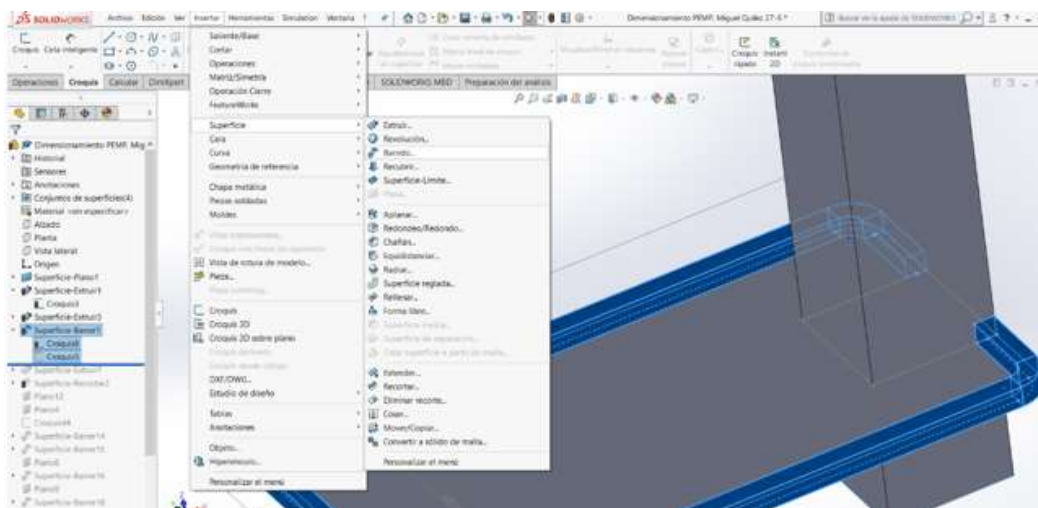
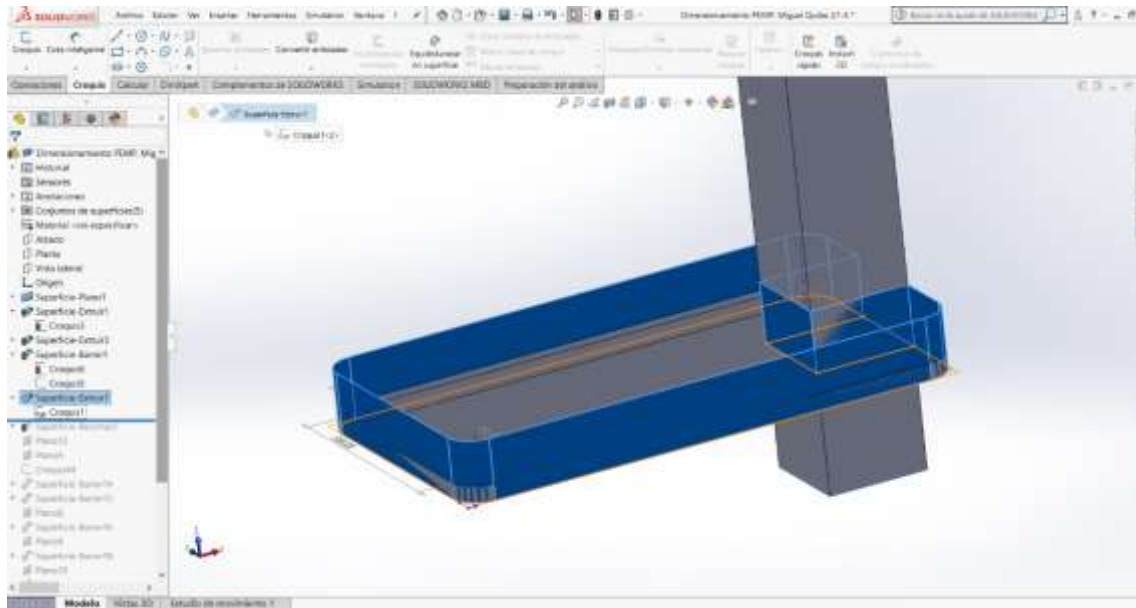


Imagen 31: Uso de herramienta barrido para crear refuerzo de la base

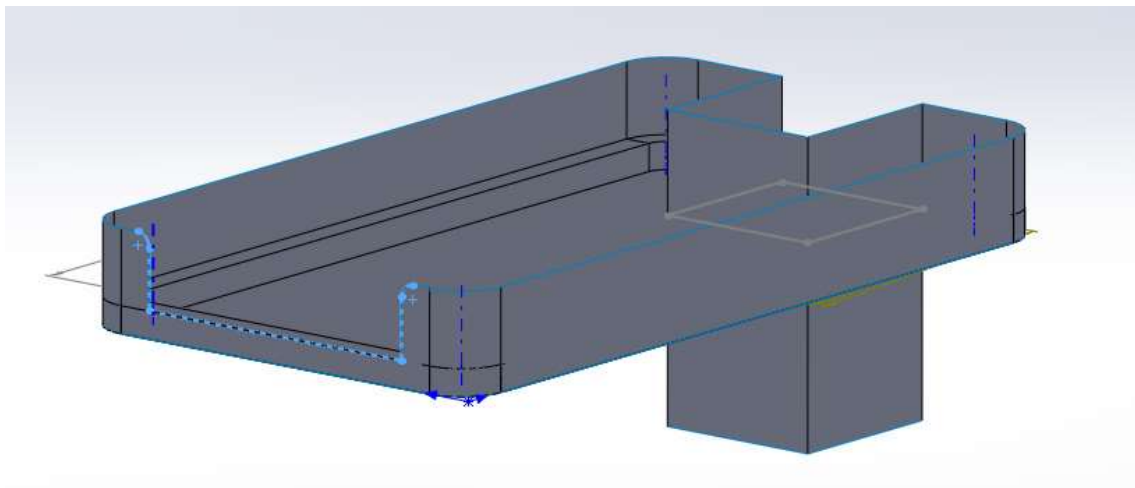
El **rodapié** se crea de la misma forma que el mástil, validando un croquis y extruyendo el elemento por encima de la base de la plataforma (imagen 32).



*Imagen 32: extrusión del rodapié*

El **acceso** a la plataforma se modela con la herramienta recortar que se localiza en el desplegable de la barra de menú INSERTAR – SUPERFICIE- RECORTAR.

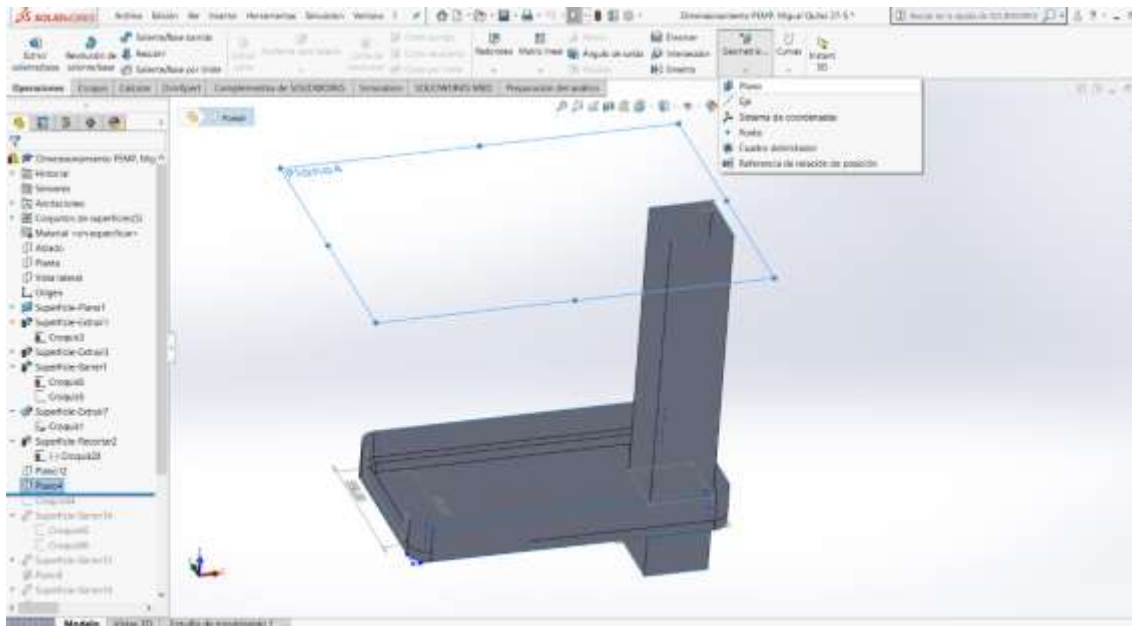
Se crea un croquis en la superficie que separe la superficie que se quiere mantener de la que se desea eliminar. Para ello se selecciona la superficie en la que se desea realizar el recorte y seguidamente la parte de la superficie a eliminar (Imagen 33).



*Imagen 33: Recorte en el acceso a la plataforma.*

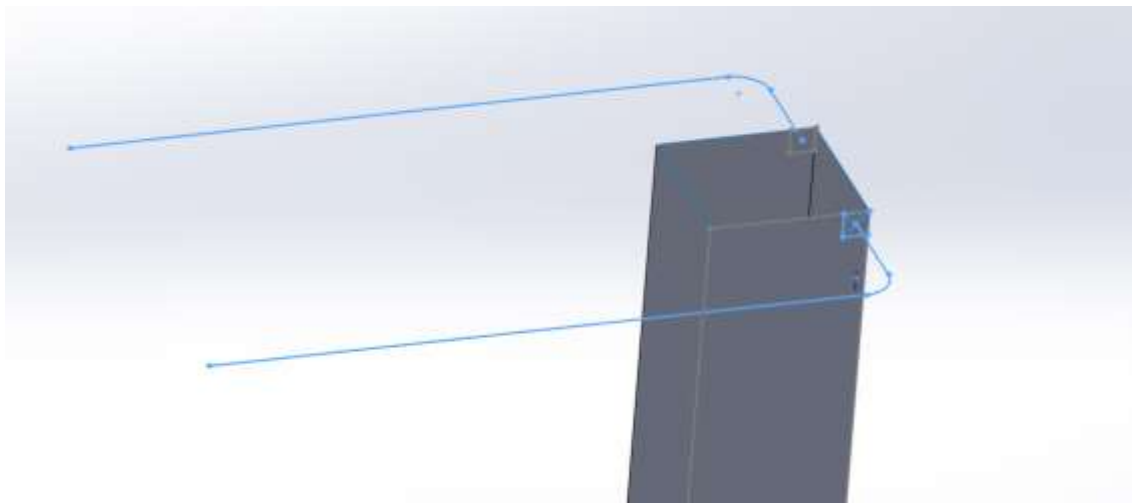
Para modelar la **barandilla** es necesario insertar un plano (Imagen 34) en la parte superior del mástil. Según la norma en la que se rige la fabricación de una PEMP la barandilla superior tiene que ubicarse a una altura mínima de 1100mm. Este nuevo plano se convertirá en el nuevo plano de dibujo. En la barra de comandos seleccionamos la pestaña OPERACIONES – GEOMETRIA – PLANO.

El plano insertado será paralelo a la base, situado a una distancia de 1100mm de la misma.



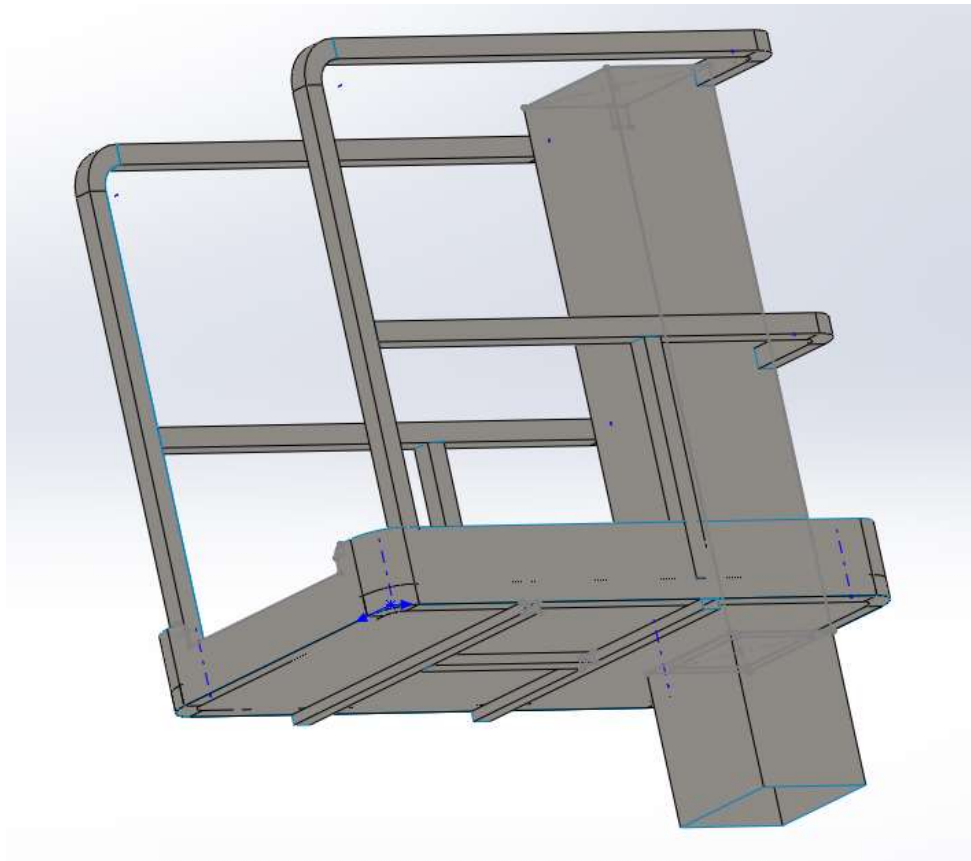
*Imagen 34: Nuevo plano paralelo a la base*

Para crear la barandilla se ha utilizado la herramienta barrido. Haciendo uso de los 2 croquis necesarios para que se produzca, forma y recorrido (Imagen 35).



*Imagen 35: Croquis necesario para la herramienta de barrido*

De la misma forma se modela todo el tramo de la barandilla. Insertando planos verticales y horizontales, dibujando croquis y utilizando la herramienta BARRIDO. También se incorpora un refuerzo en la parte inferior de la base de la plataforma, haciendo uso de la herramienta del SolidWorks EXTRUIR (Imagen 36).

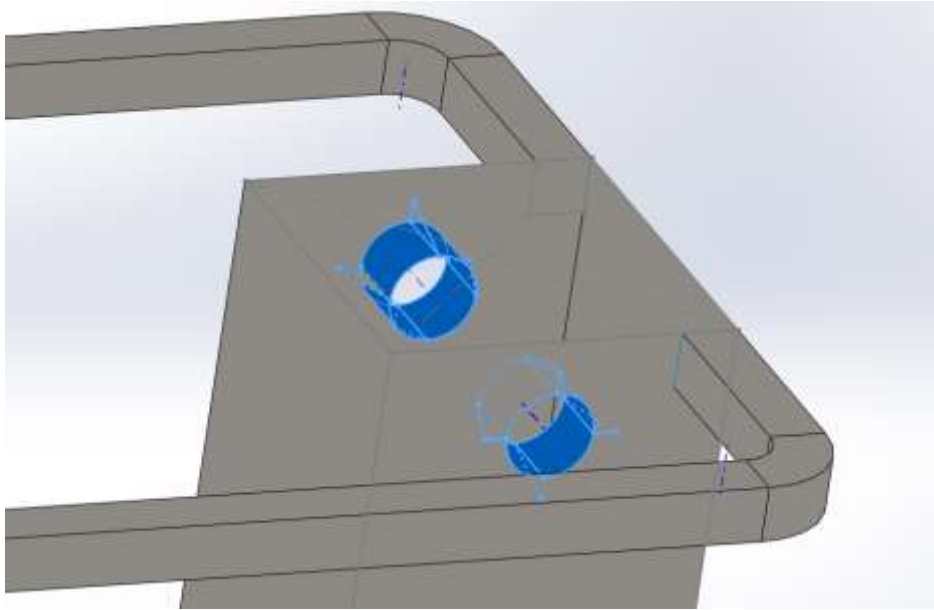


*Imagen 36: Barandilla y refuerzo inferior*

Se diseña el **alojamiento del bulón** (Imagen 37), que será el encargado de hacer solidario el movimiento de extensión del pistón hidráulico con la plataforma de trabajo. El bulón estará situado en la parte superior del mástil y se tendrá acceso mediante la tapa desmontable que cierra la parte superior del mástil.

Se extruyen hacia el interior del mástil dos superficies circulares de 50mm cada una y se colocan cuatro pletinas triangulares en cada uno de los apoyos. De esta manera se refuerza la zona donde el pistón transmitirá el movimiento a la plataforma, actuando el bulón como intermediario.





*Imagen 37: Alojamiento bulón*

## 2.3. ANÁLISIS ESTÁTICOS Y RESULTADOS

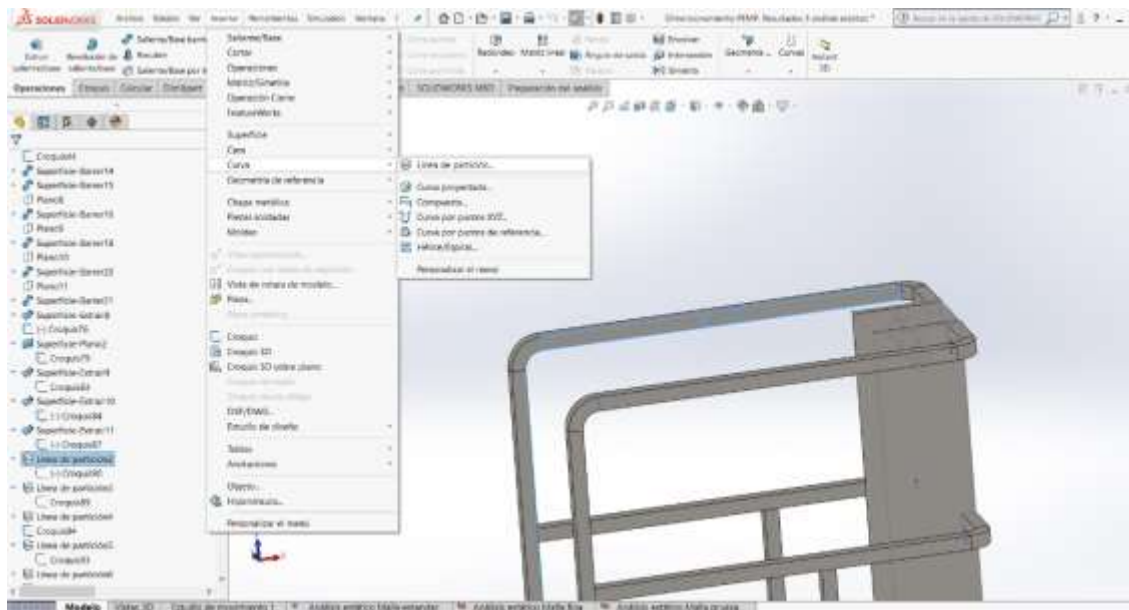
### 2.3.1. CONFIGURACIÓN DEL ANÁLISIS

El análisis estático de la plataforma se realiza aplicando las fuerzas externas máximas a las que está sometida la plataforma, en sus puntos más desfavorables. Dichas cargas son:

- La transmitida por el operario equipado con sus herramientas y equipos distribuida en la zona de la plataforma = 2.300N.
- Según la norma UNE-EN 280, la fuerza más desfavorable que debe soportar la barandilla es de 500N.

Para la realización del análisis estático y poder aplicar las fuerzas nombradas se requiere realizar unas modificaciones en el modelo, concretamente en las superficies donde van aplicadas las fuerzas. Se necesita realizar unas líneas de partición, que serán las encargadas de dividir las superficies y de esta manera aplicar las cargas en la zona solicitada.

Se hará uso de la herramienta de línea de partición para dividir la base de la plataforma por la mitad, separando la zona de acceso de la zona donde está situado el mástil. También se creará con dicha herramienta una nueva superficie de 100mm en la mitad de la barandilla superior, simulando la zona de apoyo que puede producir el operario en una situación de trabajo. A continuación se puede observar el resultado, en la superficie de la barandilla seleccionada (Imagen 38). INSERTAR – CURVA – LINEA DE PARTICIÓN.



*Imagen 38: Utilización de la herramienta línea de partición para dividir elementos*

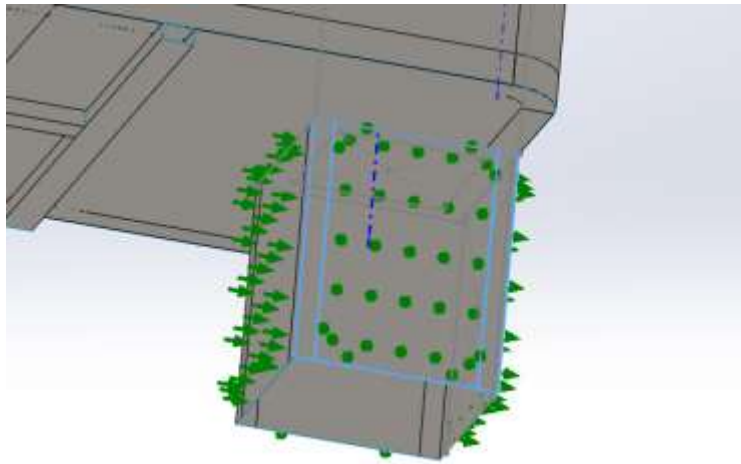
Para la simulación de la plataforma se han realizado 3 análisis estáticos, escogiendo diferente densidad de malla para cada uno de ellos. Más adelante se mostraran los resultados obtenidos para cada análisis

La simulación de la estructura de la plataforma, se inicia seleccionando la pestaña SIMULACIÓN en la barra de comandos. En la parte izquierda del entorno de trabajo aparece un nuevo gestor de diseño específico para el desarrollo de la simulación.

Dentro del gestor de diseño se introducen las condiciones de simulación necesarias para realizar nuestro estudio. Estas son: sujeciones, cargas externas y malla.

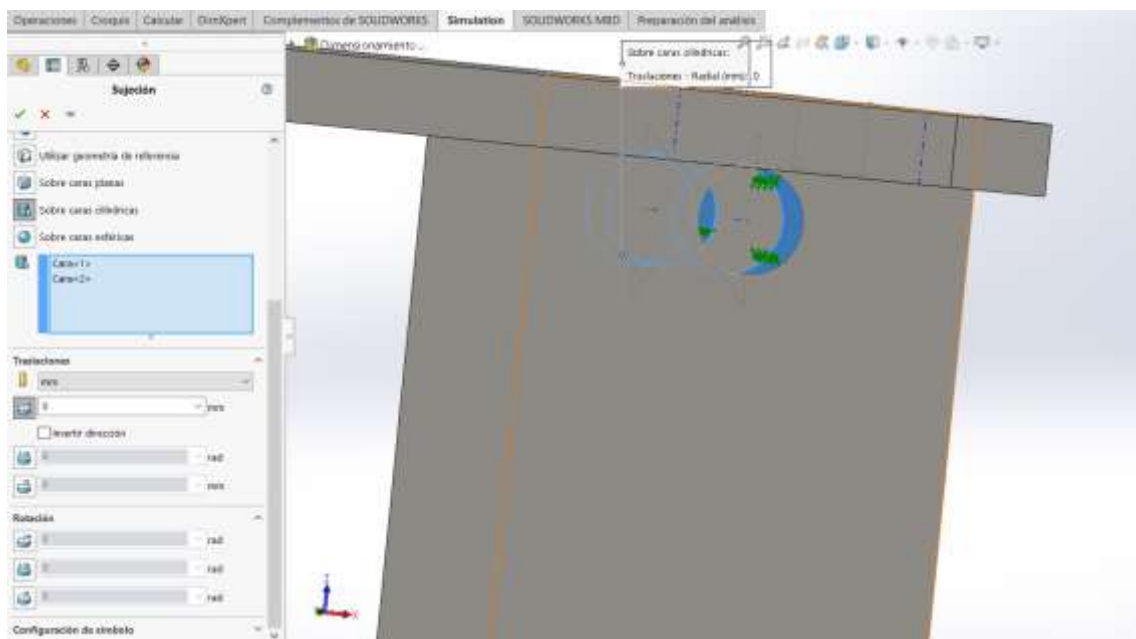
Para este modelo se debe insertar dos tipos de sujeciones:

La primera, hace referencia al contacto, debido al desplazamiento de los tacos de nylon que ejercen de guías, producido en el interior del mástil. Se elige una sujeción rodillo/control deslizante, ya que existe deslizamiento en el interior de un mástil de menor diámetro. Como podemos apreciar en la siguiente imagen, las sujeciones son aplicadas concretamente en la superficie de contacto. La superficie inferior del mástil ha sido dividida anteriormente con la herramienta línea de partición situada en el menú del croquis, esta división se ha producido para aplicar la sujeción de control deslizante (Imagen 39) únicamente en la zona donde existe contacto.



*Imagen 39: Sujeción de control deslizante en las caras de contacto*

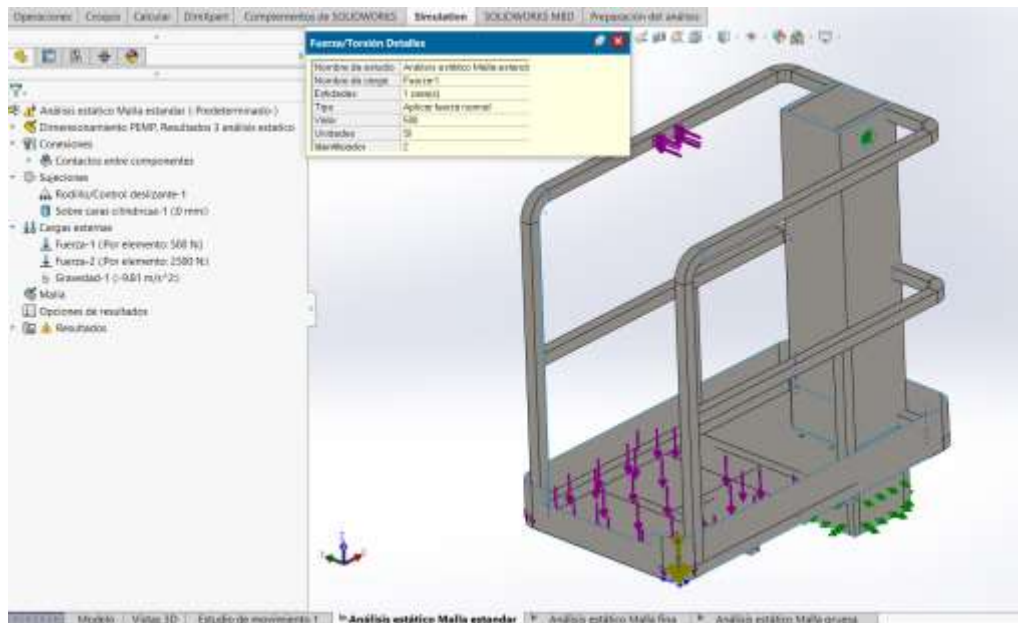
La segunda sujeción, se sitúa en la superficie interior de los orificios de apoyo del bulón. Al encontrarnos con una superficie cilíndrica, se hace uso de las sujeciones, sujeciones sobre caras cilíndricas (Imagen 40) y limitando las traslaciones radiales, que es concretamente en el caso que nos encontramos.



*Imagen 40: Sujeciones sobre caras cilíndricas en el alojamiento del bulón*

La siguiente condición para realizar el análisis estático es la incorporación de las cargas externas: fuerza de la gravedad en el plano de alzado, fuerza de 500N aplicada en un tramo de 100mm situado en la mitad de la barandilla superior y otra de 2.300N que se aplicará en la mitad de la plataforma (lado de acceso). Ambas cargas son aplicadas en las zonas más desfavorables de cada superficie.

Como podemos observar (Imagen 41), la flecha de color amarillo es la fuerza de la gravedad y las flechas de color morado indican la zona donde se concentra las fuerzas y la dirección de las mismas.



*Imagen 41: Fuerzas externas y fuerza de la gravedad*

## ANÁLISIS ELEMENTOS FINITOS

Se genera un mallado para realizar el análisis mediante elementos finitos (FEA), dicho análisis proporciona una técnica numérica fiable para analizar los diseños de ingeniería. El proceso empieza con la creación de un modelo geométrico. A continuación, el programa subdivide el modelo en pequeñas porciones de formas simples (elementos) conectadas en puntos comunes (nodos). El mallado es un paso fundamental para realizar el análisis del diseño.

El Método de elementos finitos (FEM) predice el comportamiento del modelo mediante la combinación de la información obtenida a partir de todos los elementos que conforman el modelo (8).

Para generar la malla es necesario definir los espesores (Imagen 42) de todas las superficies. Para ello en el gestor de simulación se puede editar definición de todos los conjuntos de superficies, dando el espesor en mm correspondiente para cada parte de la superficie.

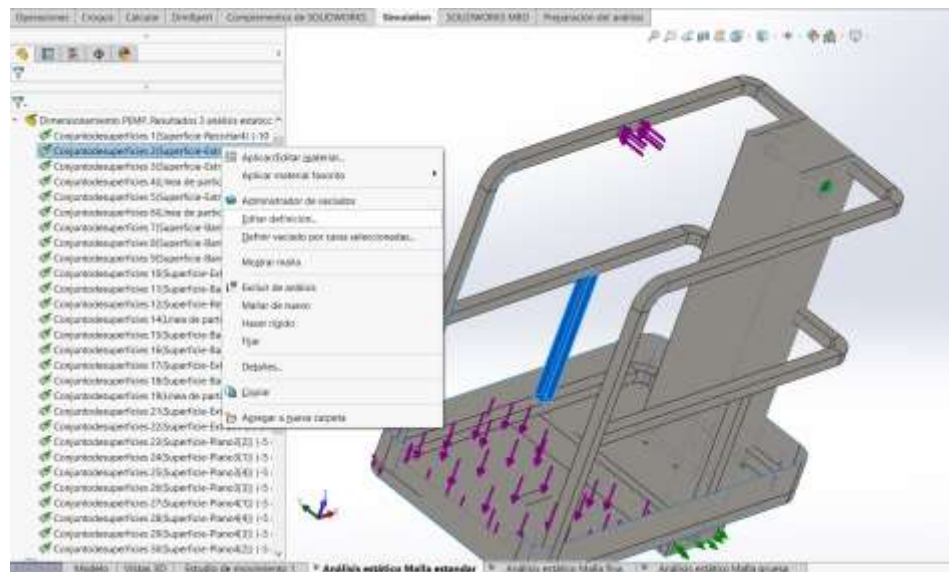
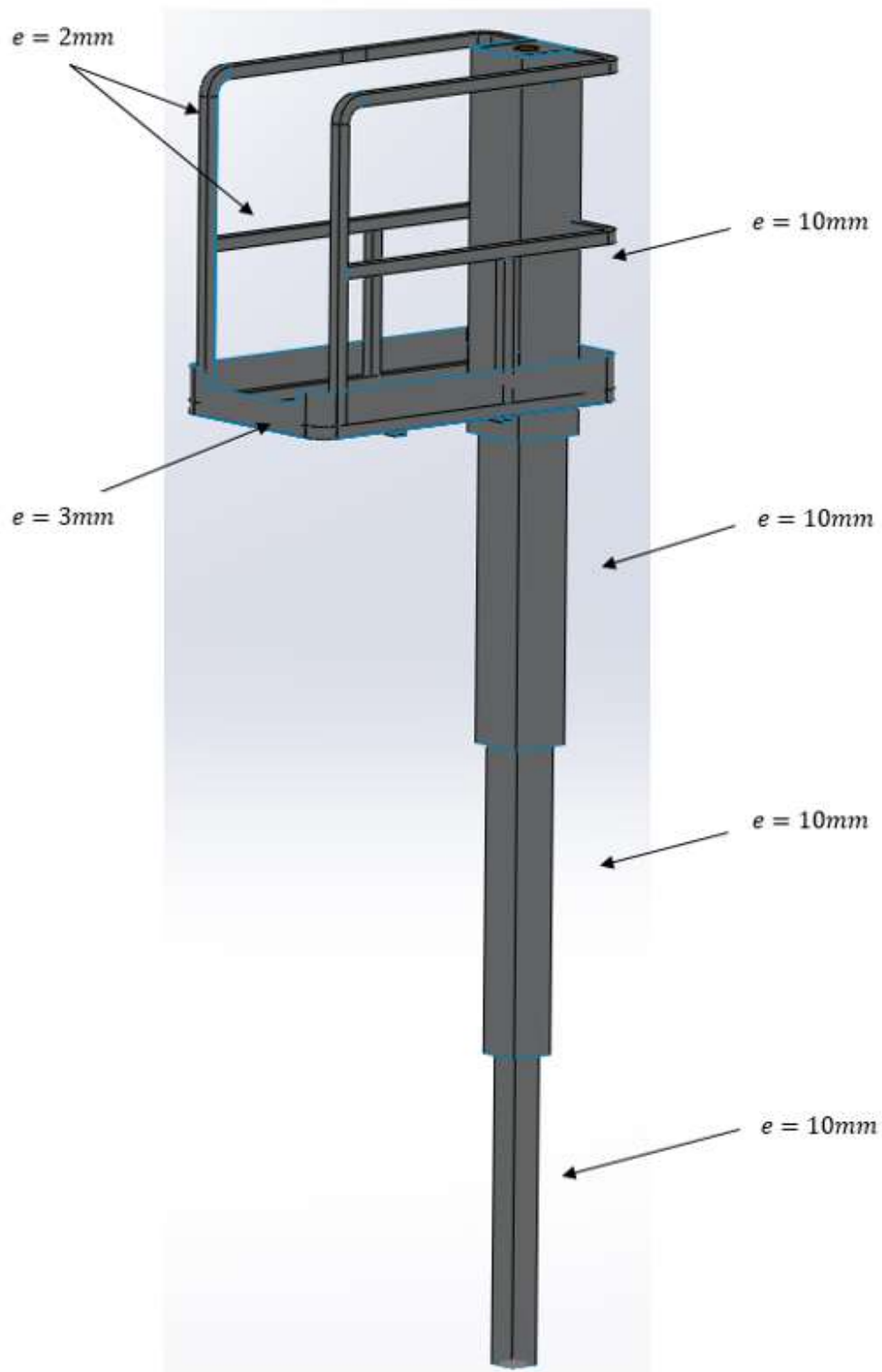


Imagen 42: Editado de espesores para general la malla

ESPESOR DE ELEMENTOS DEFINIDO PARA EL MALLADO.



*Imagen 43: Espesores utilizados en los perfiles de la plataforma*

Una vez introducido el espesor de los elementos que componen la estructura (Imagen 43). Se selecciona en el árbol de gestión MALLA, se introducen los parámetros de mallado y validamos la MALLA.

### 2.3.2. ESTUDIO PARA CONFIGURACIÓN DE MALLADO

Se realizan 5 configuraciones de mallado que se mantendrán fijas a lo largo del estudio a realizar. Nombradas como malla muy fina, fina, estándar, gruesa y muy gruesa

Las configuraciones de malla están basadas según su densidad y tienen como discrepancia el tamaño máximo del elemento. Cuando se ejecute la simulación observaremos la diferencia en los resultados.

Se trabaja con las densidades de malla siguientes:

- Malla muy fina: 40,0mm tamaño máximo del elemento
- Malla fina: 60,0mm tamaño máximo del elemento
- Malla estándar: 90,0mm tamaño máximo del elemento
- Malla gruesa: 120,0mm tamaño máximo del elemento
- Malla muy gruesa: 140,0mm tamaño máximo del elemento

Se procede a realizar diferentes configuraciones de mallado, de las cuales según los datos obtenidos en el análisis estático se efectuará un estudio para escoger el mallado que sea más estable para la estructura a analizar.

A partir del mallado estándar se ha ido modificando la densidad de malla (tamaño máximo del elemento) por encima y por debajo de los valores establecidos por el software.

Las diferentes configuraciones de mallados se basan en modificaciones en los parámetros de malla. Dichas modificaciones son: tamaño máximo del elemento, tamaño mínimo del elemento y el número mínimo de elementos en un círculo. Se mantiene para todas las configuraciones el parámetro de malla basada en curvatura, para mallar de forma correcta las superficies curvadas y obtener en esas zonas unos resultados más exactos.

#### Elección número mínimo de elementos en un círculo:

Para la elección del número mínimo de elementos en un círculo se realiza un estudio con los 5 mallados nombrados anteriormente, diferenciados en el tamaño máximo del elemento.

El estudio está dividido en 3 partes.

- Primera parte del estudio, se realiza con 32 como número mínimo de elementos en un círculo y con un tamaño mínimo del elemento establecido por el programa
- Segunda parte del estudio, se reduce a 8 el número mínimo de elementos en un círculo y se mantiene el tamaño mínimo del elemento establecido por el programa.
- Tercera parte del estudio, se fija el tamaño mínimo del elemento a 5mm y se mantiene 32 como número mínimo de elementos en un círculo.

## **A) ESTUDIO 1**

### **A.1. CONFIGURACIÓN MALLADO 1:**

Se muestran los resultados obtenidos para la configuración de mallado estándar, ya que son parámetros de valores intermedios para la configuración de mallado. Sirven como ejemplo para el resto de análisis estáticos realizados en el ESTUDIO 1.

#### **A.1.1. Análisis estático malla muy fina**

Se ejecuta un estudio con los siguientes parámetros de malla: 40mm tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 13,33) y 32 el número mínimo de elementos en un círculo. Se recogen los resultados de desplazamientos y tensiones en imágenes (*ver anexo, punto 1.1.1.*).

#### **A.1.2. Análisis estático malla fina**

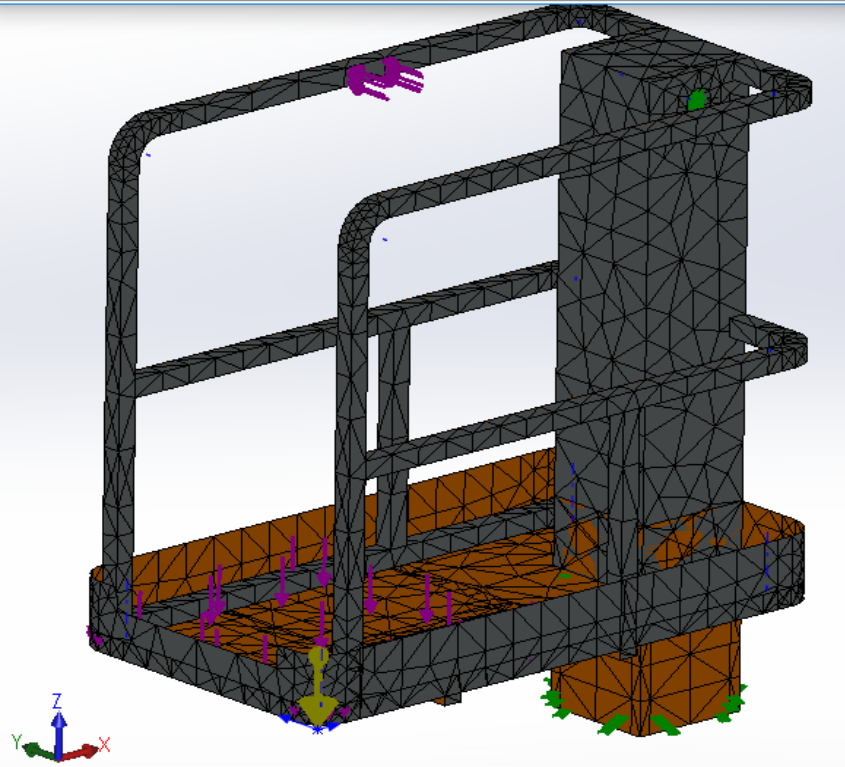
Mallado producido con 60mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 19,99) y conservando 32 para el número mínimo de elementos en un círculo. A través del estudio se obtienen resultados para analizar. Con respecto al análisis anterior se puede comprobar que el número de nodos ha disminuido, también se ha reducido el número total de elementos (*ver anexo, punto 1.1.2.*).

#### **A.1.3. Análisis estático malla estándar**

Se utilizan 90mm para el tamaño máximo del elemento, haciendo un redondeo al valor numérico predeterminado por el software para un mallado estándar (89,23), se mantiene el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 29,99) además de 32 para el número mínimo de elementos en un círculo. A continuación se muestran como queda definida la malla y los resultados obtenidos en desplazamientos y tensiones.



Nombre de estudio	Análisis estático Malla Estandar (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	90 mm
Tamaño mín. de elemento	29.9997 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	7162
Número total de elementos	3624
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	M-POR1341



*Imagen 44: Características y mallado (malla estándar)*

A continuación se muestran los resultados para la configuración de malla estándar son aproximadamente valores que el software coge como ideales para el diseño creado y sirven como ejemplo para los análisis realizados en el estudio 1

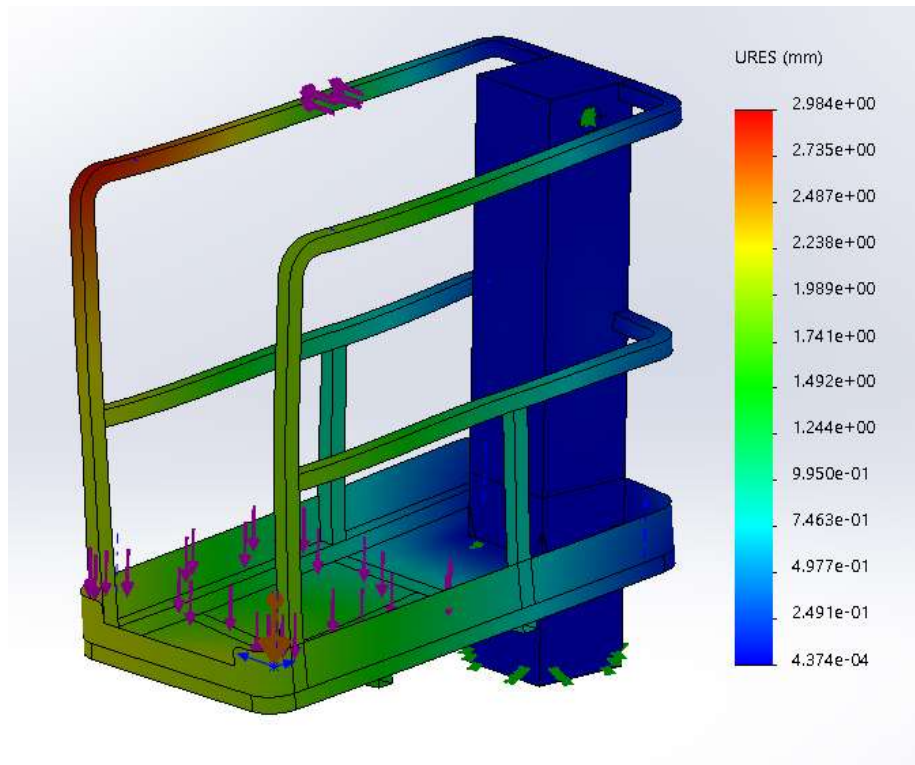


Imagen 45: Desplazamiento (malla estándar)

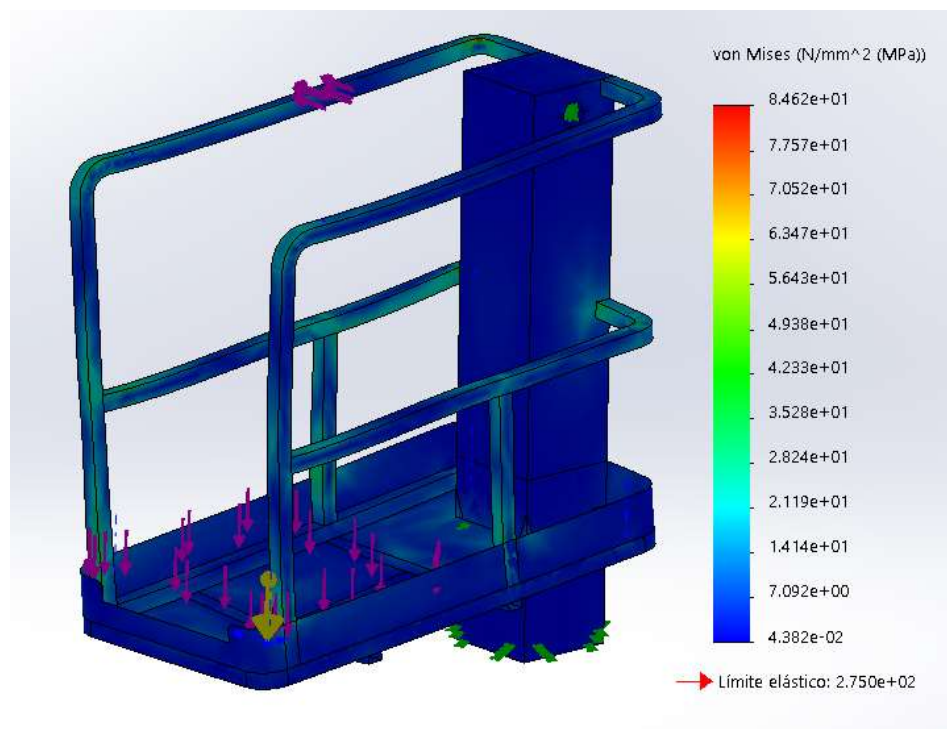


Imagen 46: Tensión cara superior del elemento (malla estándar)

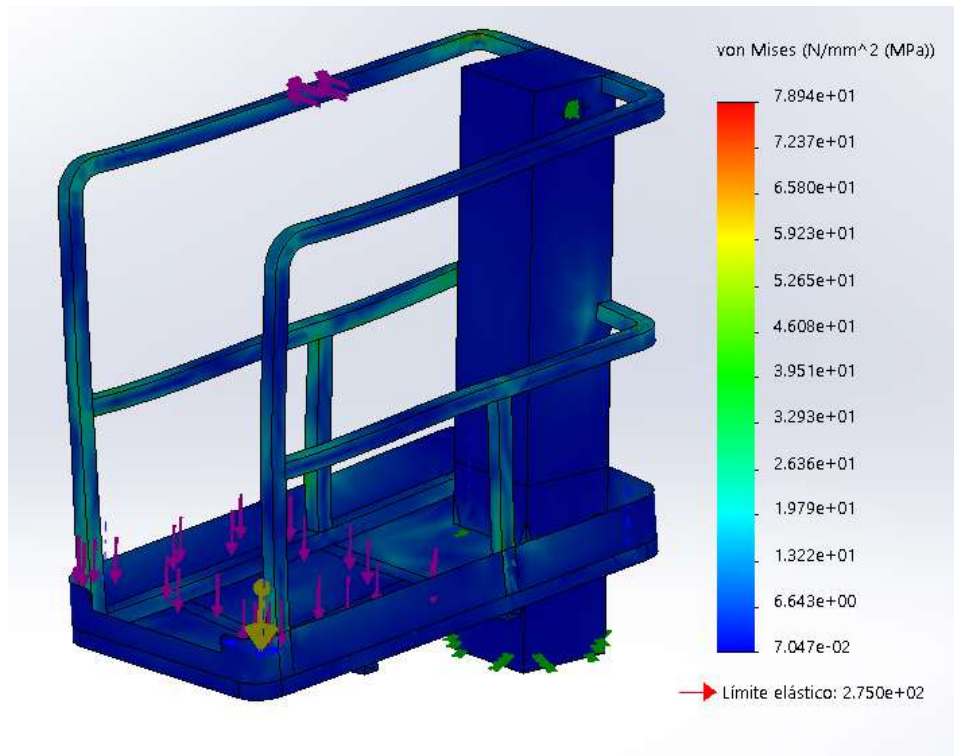


Imagen 47: Tensión cara inferior del elemento (malla estándar)

#### A.1.4. Análisis estático malla gruesa

Seleccionando 120mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 39,99) y conservando 32 para el número mínimo de elementos en un círculo, se resuelve el estudio (*ver anexo 1.1.3.*).

#### A.1.5. Análisis estático malla muy gruesa

Seleccionando 140mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 46,66) y conservando 32 para el número mínimo de elementos en un círculo. Es la configuración de malla generada que presenta un tamaño más grande de los elementos, por consecuente el número total de elementos se verá reducido. Con estos parámetros de mallado, se puede observar elementos muy grandes y por lo tanto el número de nodos es menor con respecto a los demás estudios realizados (*ver anexo 1.1.4.*).

## **A.2. CONFIGURACIÓN MALLADO 2:**

En la segunda parte del estudio se puede observar en las imágenes de mallado que al disminuir el número mínimo de elementos en un arco a 8, las zonas curvadas aglomeran menos elementos que en la primera parte del estudio.

### **A.2.1. Análisis estático malla muy fina**

Introduciendo los 40mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 13,33) y 8 el número mínimo de elementos en un círculo (*ver anexo 1.2.1.*).

### **A.2.2. Análisis estático malla fina**

Se realiza la configuración de mallado con 60mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 19,99) y 8 como número mínimo de elementos en un círculo. Se obtienen los resultados de desplazamiento tensión superior y tensión inferior (*ver anexo 1.2.2.*).

### **A.2.3. Análisis estático malla estándar**

Se utiliza 90mm como valor para el tamaño máximo del elemento, redondeando (89,23) que es el valor numérico establecido por el software para el mallado estándar, se mantiene el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 29,99) y se modifica a 8 el número mínimo de elementos en un círculo, que es el parámetro en el que se centra el segundo estudio.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla Estandar (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	90 mm
Tamaño mín. de elemento	29.9997 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	6179
Número total de elementos	3127
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:02
Nombre de computadora	M-POR1341

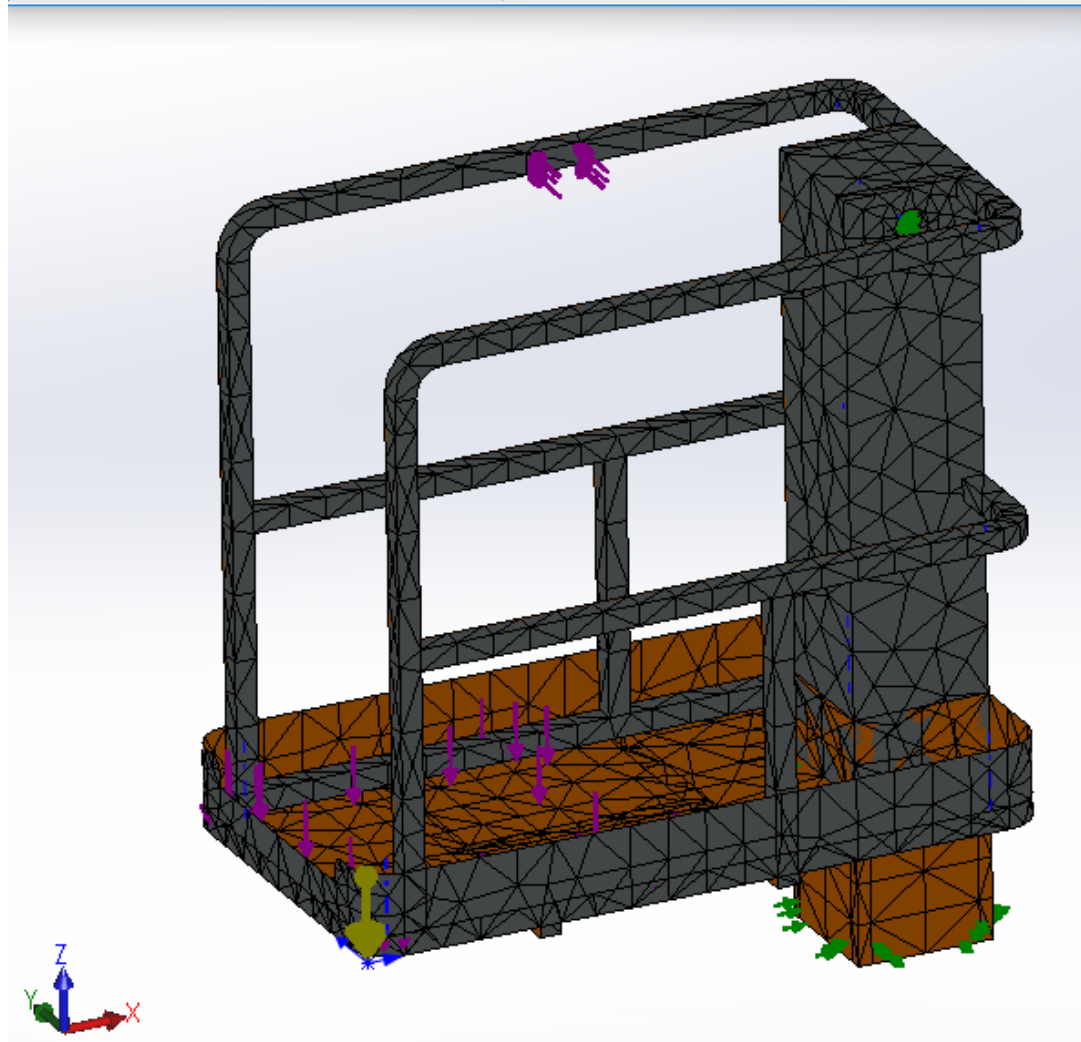


Imagen 48: Características y mallado (malla estándar)

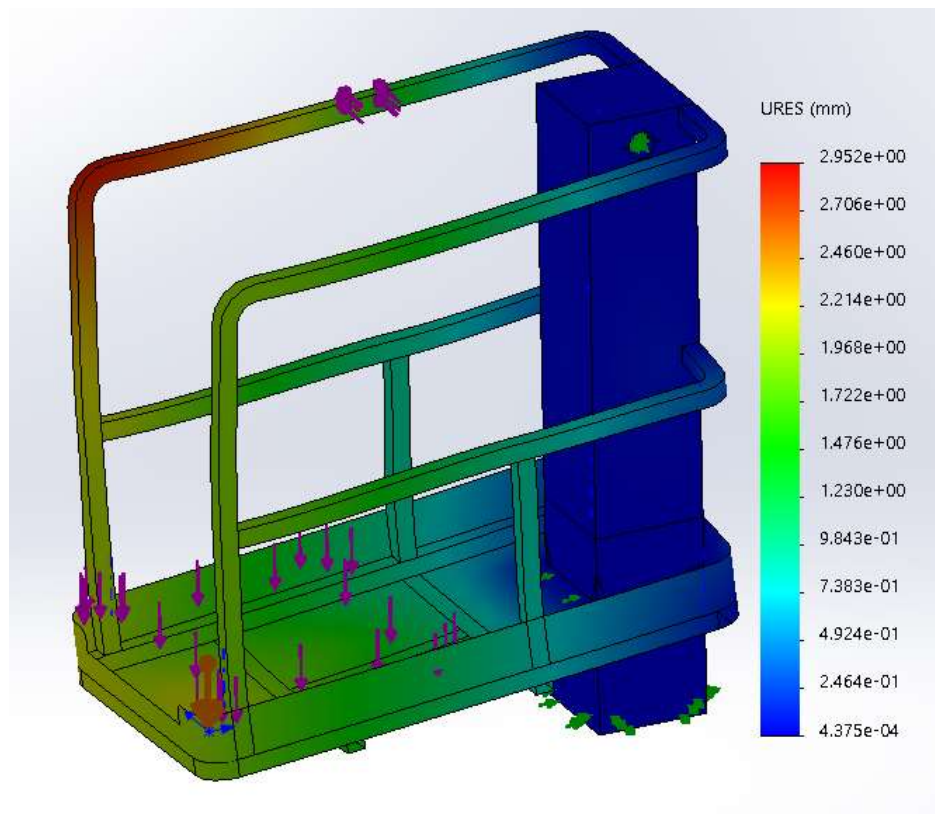


Imagen 49: Desplazamientos (malla estándar)

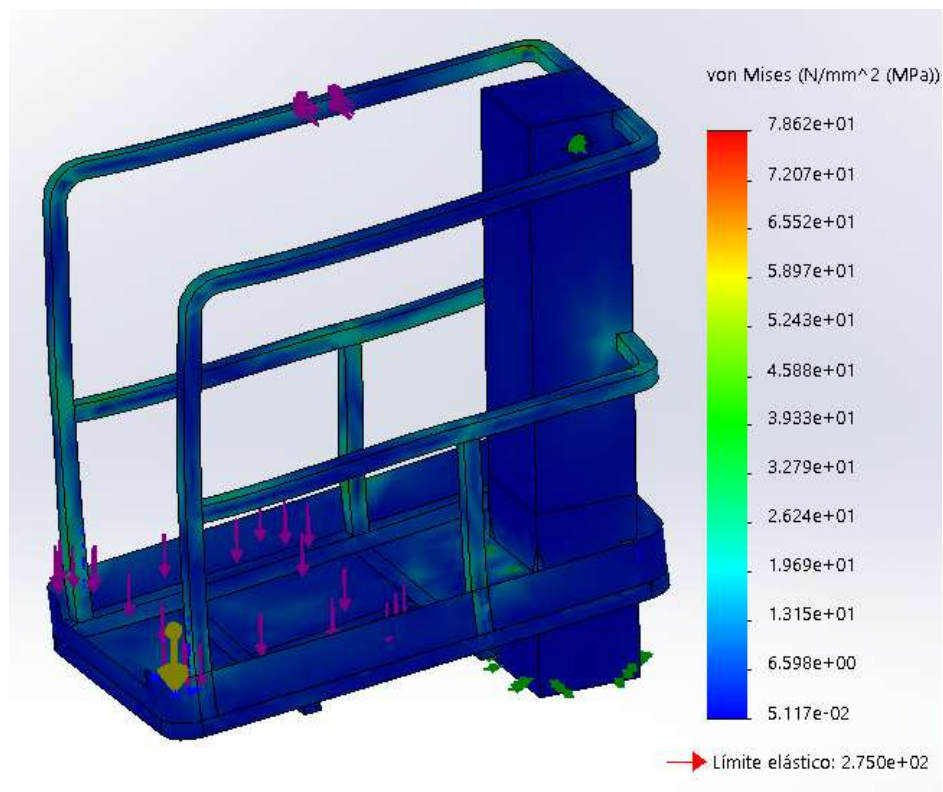
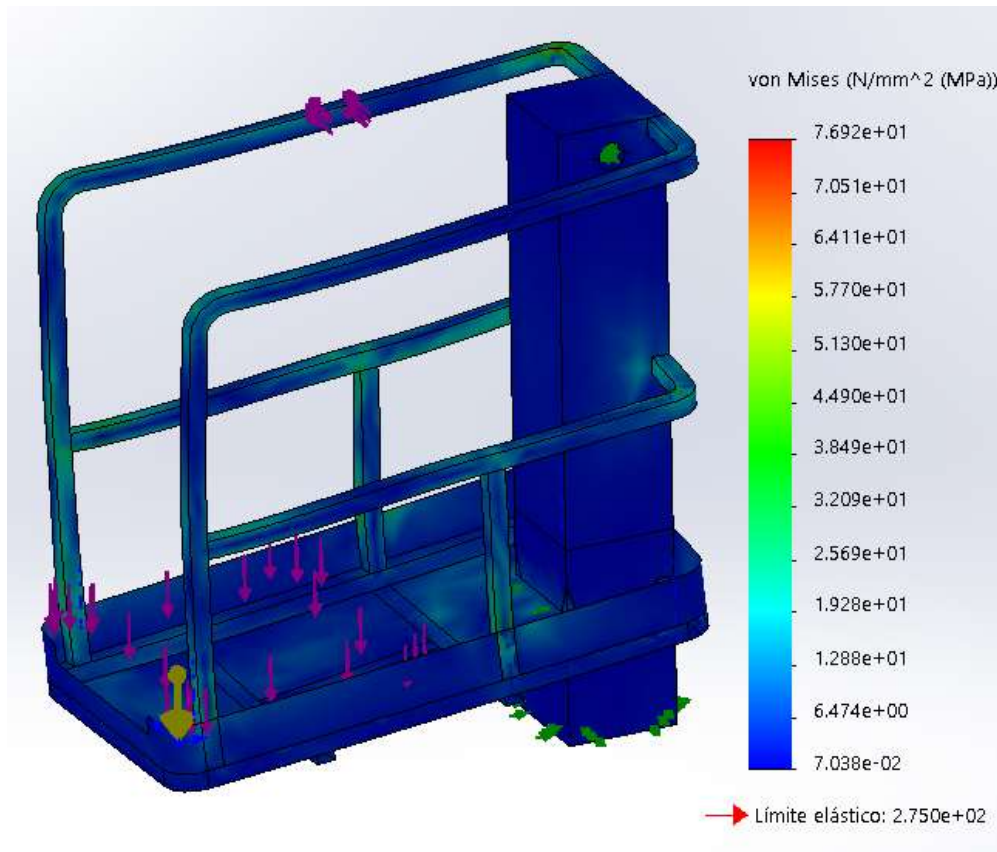


Imagen 50: tensión cara superior del elemento (malla estándar)





*Imagen 51: tensión cara inferior del elemento (malla estándar)*

#### **A.2.4. Análisis estático malla gruesa**

Se genera una malla con valores de 120mm para el tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 39,99mm) y conservando 8 para el número mínimo de elementos en un círculo. Una vez generada la malla se ejecuta el estudio para obtener los resultados (*Ver anexo 1.2.3.*).

#### **A.2.5. Análisis estático malla muy gruesa**

Estudio ejecutado con una malla de 140mm tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 46,66) y como llevamos haciendo durante este segundo estudio designaremos 8 para el número mínimo de elementos en un círculo. Se obtienen los resultados utilizados para sacar conclusiones del estudio general (*ver anexo 1.2.4.*).

### **A.3. CONFIGURACIÓN MALLADO 3:**

#### **A.3.1. Análisis estático malla muy fina**

Los valores aplicados para este análisis y obtener resultados de desplazamiento y tensiones son, 40mm tamaño máximo del elemento, 5 mm para el tamaño mínimo del elemento y 32 el número mínimo de elementos en un círculo (*ver anexo 1.3.1.*).

#### **A.3.2. Análisis estático malla fina**

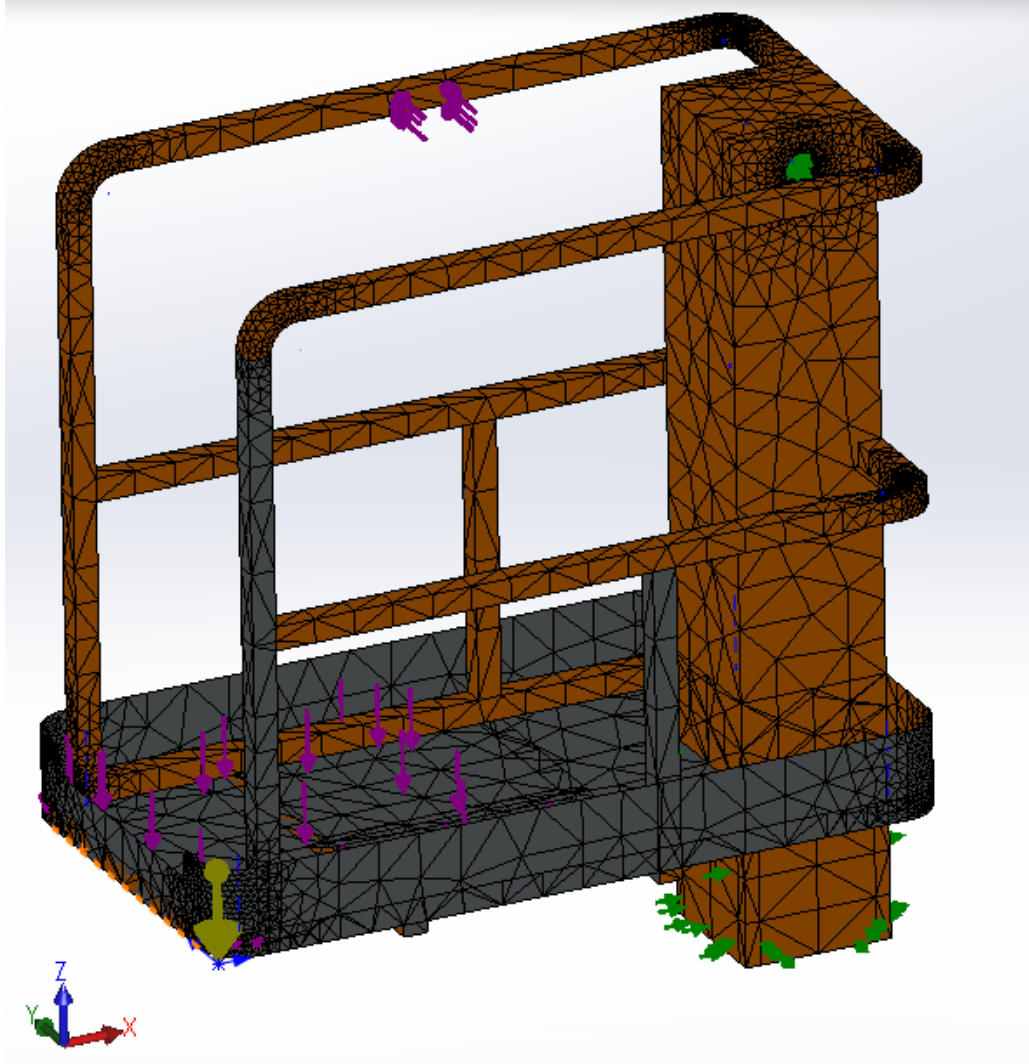
Seleccionando 60mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento se fija en 5mm y 32 como número mínimo de elementos en un círculo (*ver anexo 1.3.2.*). Se obtienen resultados que se plasmaran en tablas para sacar unas conclusiones de configuración.

#### **A.3.3. Análisis estático malla estándar**

Empleamos 90mm como valor para el tamaño máximo del elemento, redondeando (89,99) que es el valor numérico establecido por el software para el mallado estándar, introducimos 5mm para el tamaño mínimo del elemento y número mínimo de elementos en un círculo 32.



Nombre de estudio	Análisis estático Malla Estandar (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	90 mm
Tamaño mín. de elemento	5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	26094
Número total de elementos	13096
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:05
Nombre de computadora	M-POR1341



*Imagen 52: Características y mallado (malla estándar)*

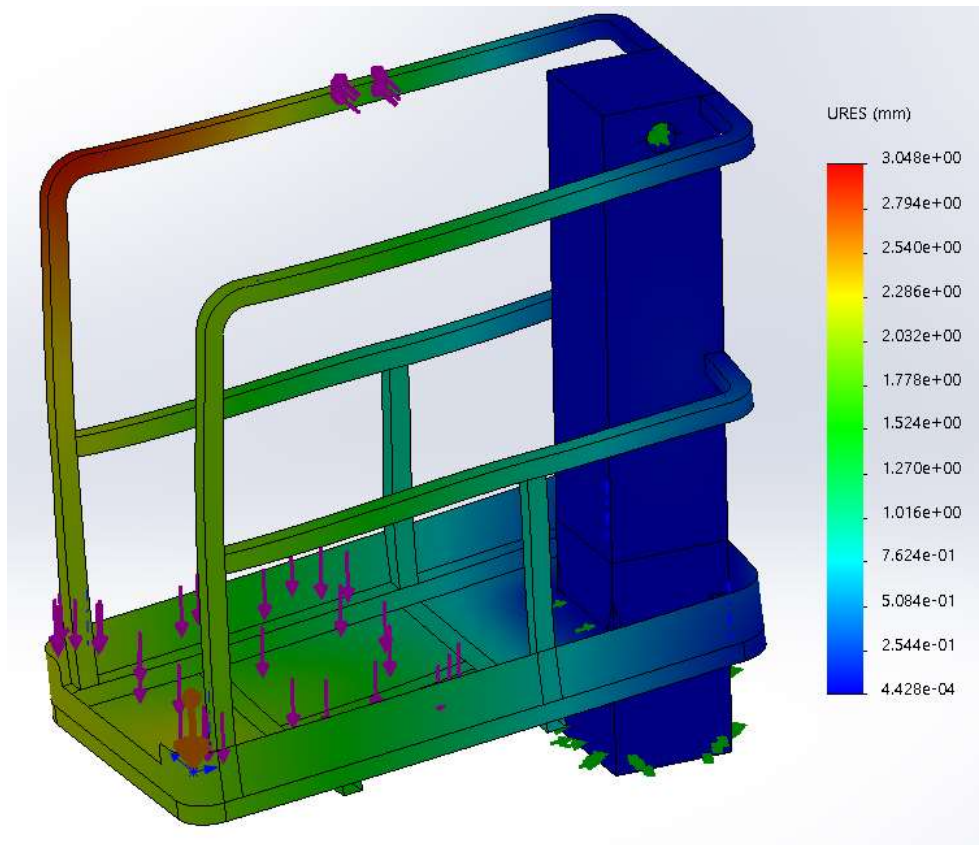


Imagen 53: Desplazamiento (malla estándar)

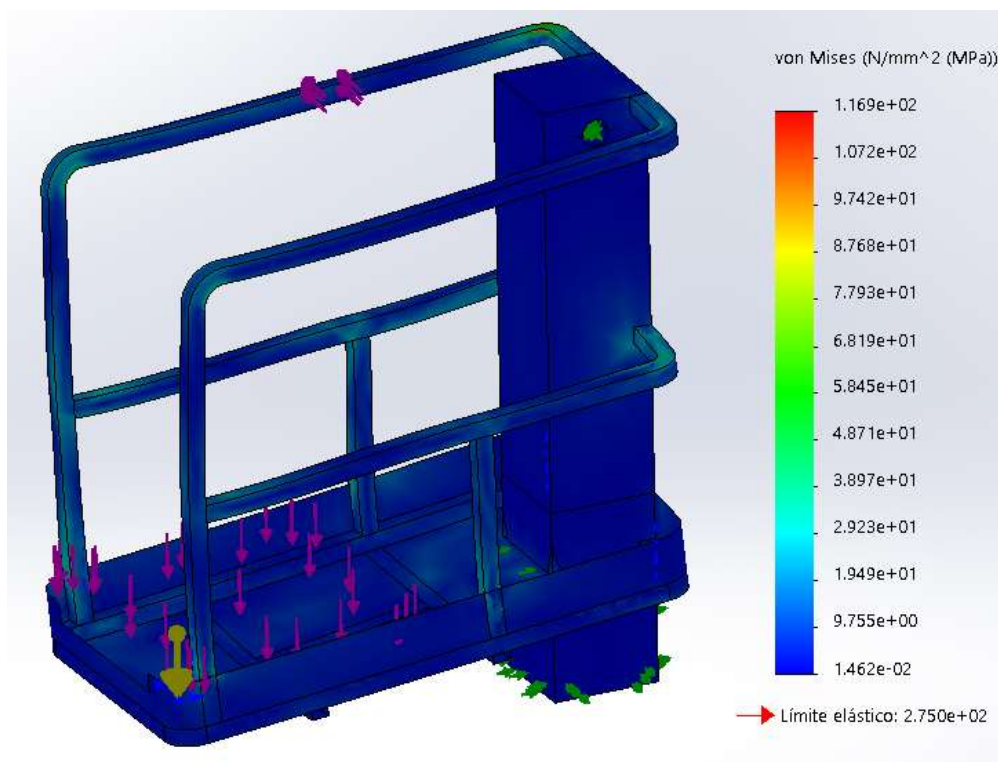


Imagen 54: Tensión cara superior del elemento (malla estándar)

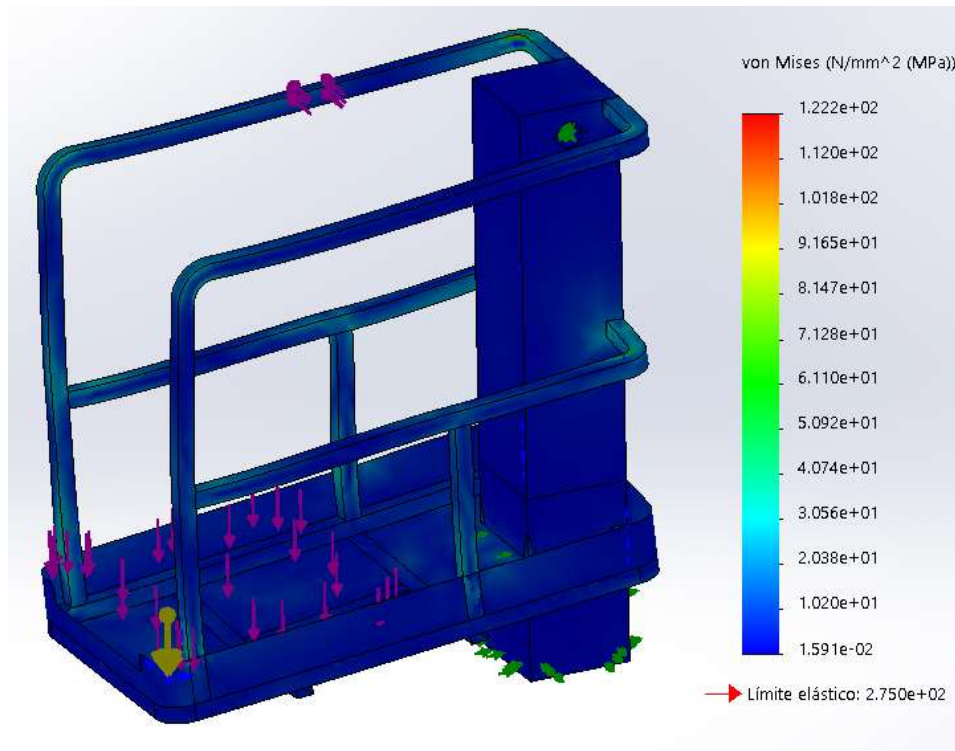


Imagen 55: Tensión cara inferior del elemento (malla estándar)

#### A.3.4. Análisis estático malla gruesa

Se configuran los parámetros de mallado utilizando como tamaño máximo del elemento 120mm, 5mm para el tamaño mínimo del elemento y 32 para el número mínimo de elementos en un círculo. Aparecen resultados de desplazamientos y tensiones cuando se ejecuta el estudio (ver *anexo 1.3.3.*).

#### A.3.5. Análisis estático malla muy gruesa

Introduciendo 140mm, ya que es el tamaño máximo del elemento predeterminado desde un inicio para la malla muy gruesa, un tamaño mínimo del elemento de 5mm y como mínimo 32 elementos en un círculo, se obtienen los resultados del análisis (ver *anexo 1.3.4.*).

Para obtener las **conclusiones de la configuración de mallado** plasmamos en tablas los resultados obtenidos de las 3 partes del estudio 1 y realizamos unas gráficas para visualizar de una manera más directa los cambios realizados en los parámetros de mallado, desplazamiento, tensión superior y tensión inferior:

Estudio 1	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
Descripción malla	Tamaño máx. de elemento	Tamaño mín. de elemento	Desplazamiento	Tensión Superior	Tensión Inferior
Muy fina	40	13,33	3,11	111,90	98,48
Fina	60	19,99	3,05	91,73	77,90
Estandar	90	29,99	2,98	84,50	78,84
Gruesa	120	39,99	2,89	78,88	59,00
Muy gruesa	140	46,66	2,89	79,57	59,30

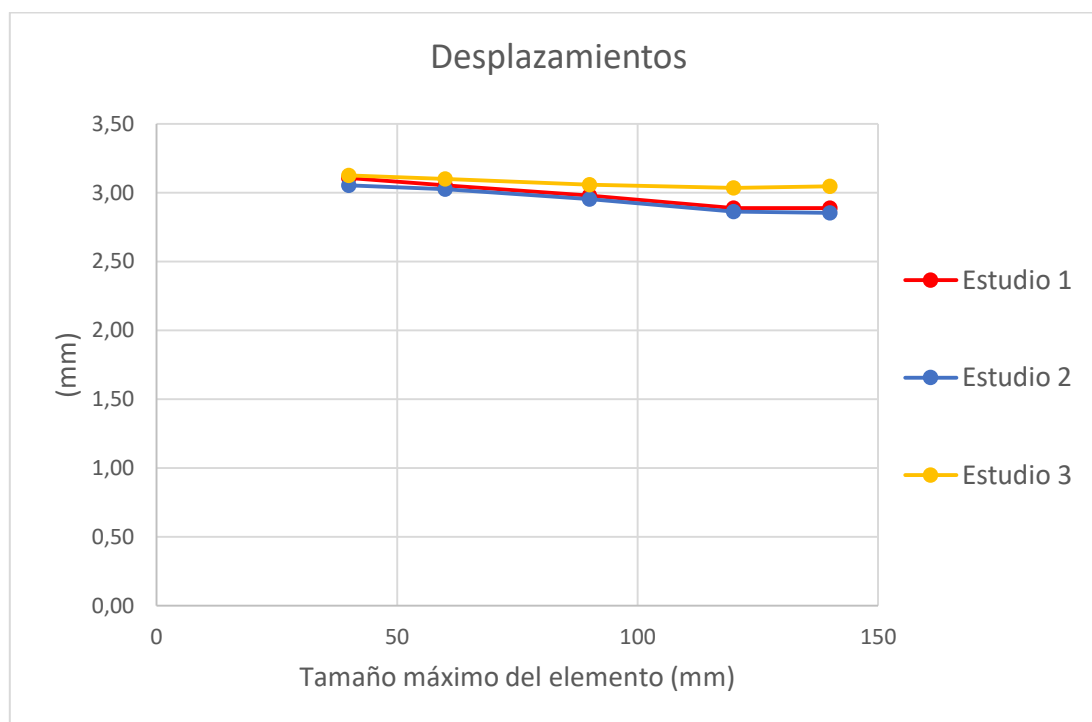
Tabla 1. A.1.CONFIGURACIÓN MALLADO 1

Estudio 2	Número mín. de elementos en un círculo = 8				
Descripción malla	Tamaño máx. de elemento	Tamaño mín. de elemento	Desplazamiento	Tensión Superior	Tensión Inferior
Muy fina	40	13,33	3,05	83,39	79,81
Fina	60	19,99	3,02	88,58	78,37
Estandar	90	29,99	2,95	78,62	76,92
Gruesa	120	39,99	2,86	78,56	59,41
Muy gruesa	140	46,66	2,85	78,42	58,87

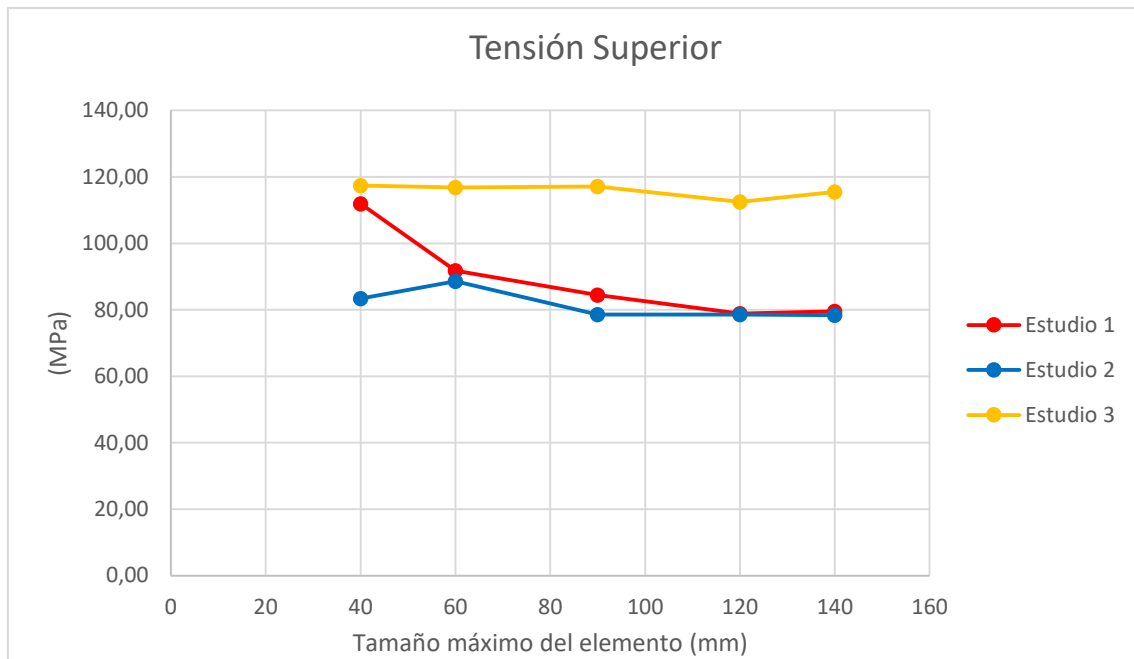
Tabla 2. A.2.CONFIGURACIÓN MALLADO 2

Estudio 3	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
Descripción malla	Tamaño máximo de elemen	Tamaño mínimo de elemen	Desplazamiento	Tensión Superior	Tensión Inferior
Muy fina	40	5	3,13	117,4	124,6
Fina	60	5	3,10	116,8	125,0
Estandar	90	5	3,06	117,1	122,4
Gruesa	120	5	3,03	112,5	122,0
Muy gruesa	140	5	3,05	115,5	123,2

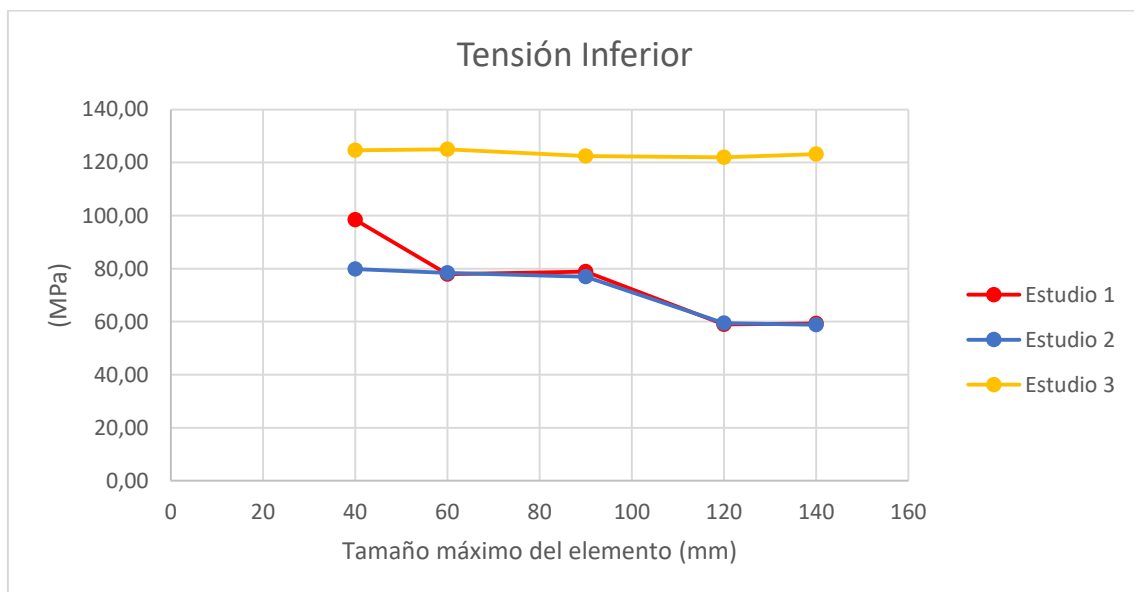
Tabla 3. A.3.CONFIGURACIÓN MALLADO 3



Gráfica 1: desplazamientos estudios 1,2 y 3 Vs Tamaño máximo del elemento



Gráfica 2: Tensión superior estudios 1, 2 y 3 Vs Tamaño máximo del elemento



Gráfica 3: Tensión inferior estudios 1, 2 y 3 Vs Tamaño máximo del elemento

Visualizando las gráficas 1, 2 y 3 se observa una clara diferencia entre los 3 estudios realizados. El estudio 3 (línea amarilla) es el que presenta mayor estabilidad en los resultados ejecutados, sobre todo entre los puntos de malla muy fina (40mm), malla fina (60mm) y malla estándar (90mm). Por lo tanto, el tamaño máximo del elemento tiene que estar entre 40 y 90.

Para que el número mínimo de elementos en un arco no condicione al tamaño mínimo del elemento, se fija 32 como número mínimo de elementos en un arco.

Se observa que el tamaño mínimo condiciona mucho el resultado, a continuación se estudia la influencia del tamaño mínimo para cada configuración de tamaño máximo.

Siguiendo con el procedimiento utilizado para la elección del parámetro anterior, se realizan estudios con diferentes configuraciones para concretar el tamaño máximo y definir el tamaño mínimo del elemento que son otros parámetros influyentes en el mallado.

Fijando los valores de tamaño máximo del elemento en 40, 60, 90, 120, 140, se procede a realizar pruebas con una variación de 5mm en el tamaño mínimo del elemento (5, 10, 15, 20, 25 y 30) y fijando en 32 el parámetro número mínimo de elementos en un círculo.

## **B) ESTUDIO 2**

### **B.1. CONFIGURACIÓN MALLADO 1 (tamaño mínimo del elemento 5mm):**

Prueba con 5mm de tamaño mínimo del elemento se realizó en la tercera parte del anterior estudio, por lo tanto ya se conocen los resultados (*ver punto A.3 del ESTUDIO 1*)

### **B.2. CONFIGURACIÓN MALLADO 2 (tamaño mínimo del elemento 10mm):**

Se muestran como ejemplo la configuración de malla y los resultados obtenidos para el análisis estático de malla estándar.

#### **B.2.1. Análisis estático malla muy fina**

Se ejecuta un estudio, y así obtener valores de desplazamiento y tensiones para la configuración de malla definida por el tamaño mínimo del elemento y el tamaño máximo definido para la malla muy fina (*ver anexo 2.1.1.*).

#### **B.2.2. Análisis estático malla fina**

Para valores de tamaño máximo de 60mm y con el tamaño mínimo fijado en 10mm, se obtienen los análisis de rigidez y resistencia (*ver anexo 2.1.2.*).

#### **B.2.3. Análisis estático malla estándar.**

Se muestra como queda definida la malla y los resultados obtenidos al ejecutar el análisis. La malla estándar se toma como ejemplo para visualizar la forma en la que se obtienen los resultados, misma forma que para el resto de análisis estáticos.



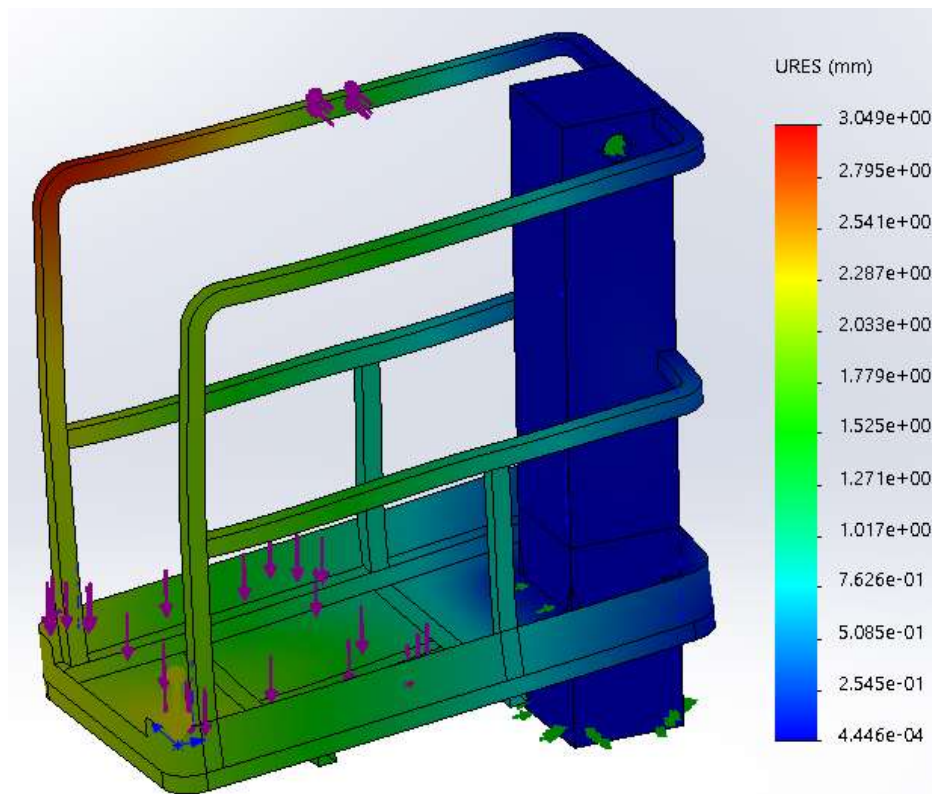


Imagen 56: Desplazamiento (malla estándar)

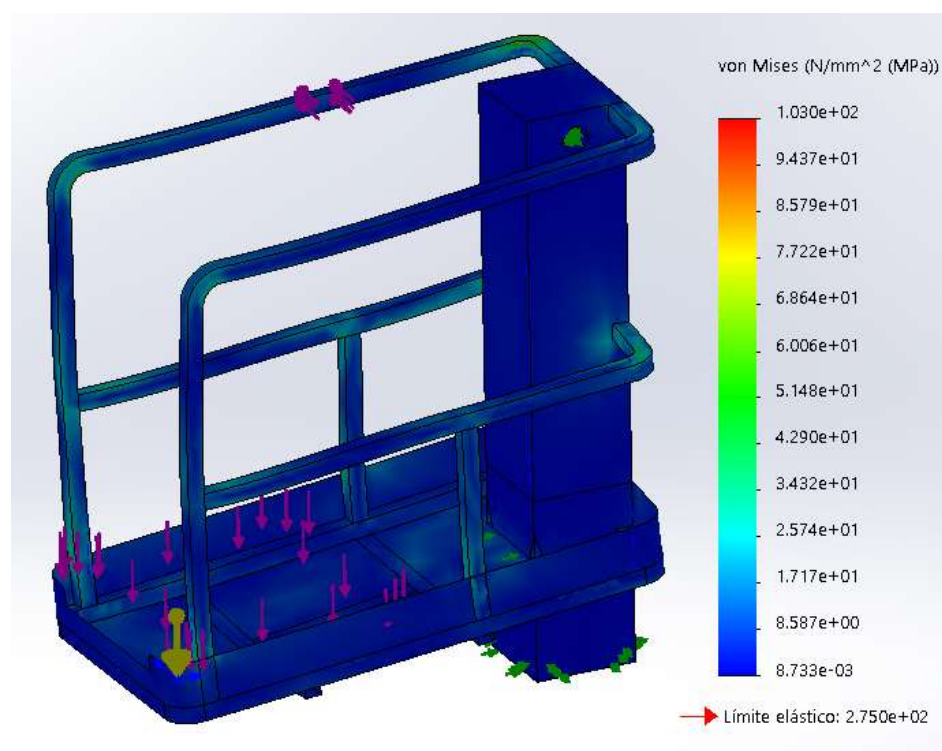


Imagen 57: Tensión cara superior del elemento (malla estándar)



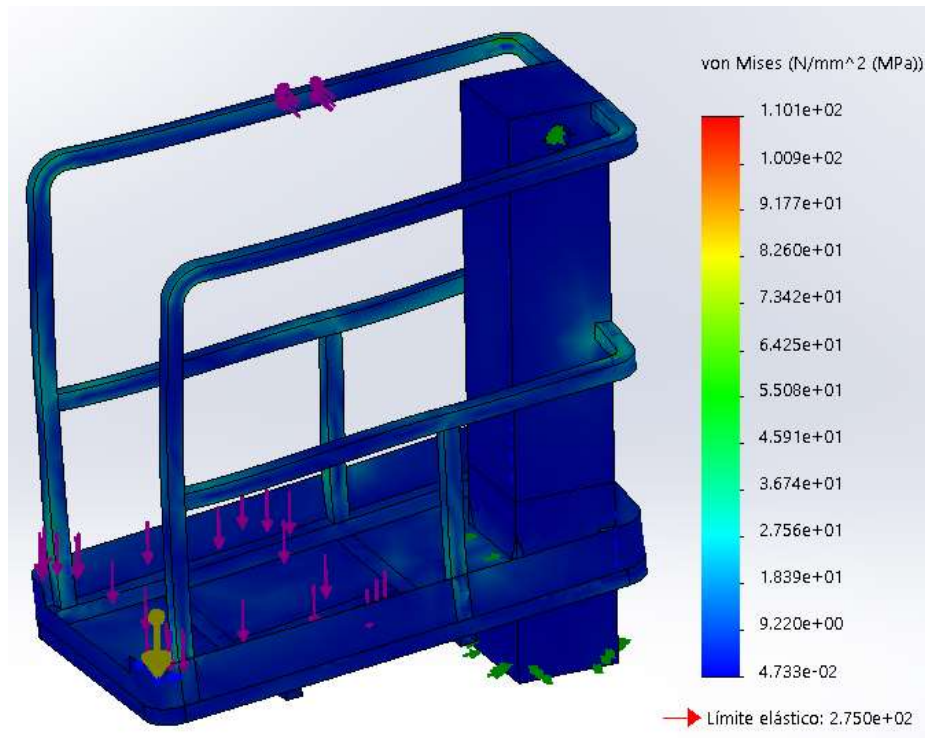


Imagen 58: tensión cara inferior del elemento (malla estándar)

#### B.2.4. Análisis estático malla gruesa

Ejecutando el estudio, se generan unos resultados para este análisis con configuración de malla gruesa 120mm tamaño máximo (ver anexo 2.1.3.).

#### B.2.5. Análisis estático malla muy gruesa

Se muestran los resultados obtenidos, una vez ejecutado el estudio, para esta configuración de malla gruesa (ver anexo 2.1.4.).

### B.3. CONFIGURACIÓN MALLADO 3 (tamaño mínimo del elemento 15mm):

Únicamente se muestran los resultados del análisis estático de malla estándar, ya que luego se plasmaran los resultados de todos los análisis es tablas.

#### B.3.1. Análisis estático malla muy fina

Se obtienen resultados para este análisis con la configuración de mallado 3. Tamaño máximo 40mm, tamaño mínimo 5 y 32 elementos en un círculo (ver anexo 2.2.1.).

### B.3.2. Análisis estático malla fina

Con la malla fina, determinada al principio con 60mm se modifica el tamaño mínimo del elemento a 15mm para la configuración de mallado establecida (*ver anexo 2.2.2.*).

### B.3.3. Análisis estático malla estándar.

La malla estándar, al ser la que más se aproxima a la definida por el programa, se muestran los resultados obtenidos en desplazamiento y tensiones, y queda como ejemplo para el resto de análisis estáticos realizados.

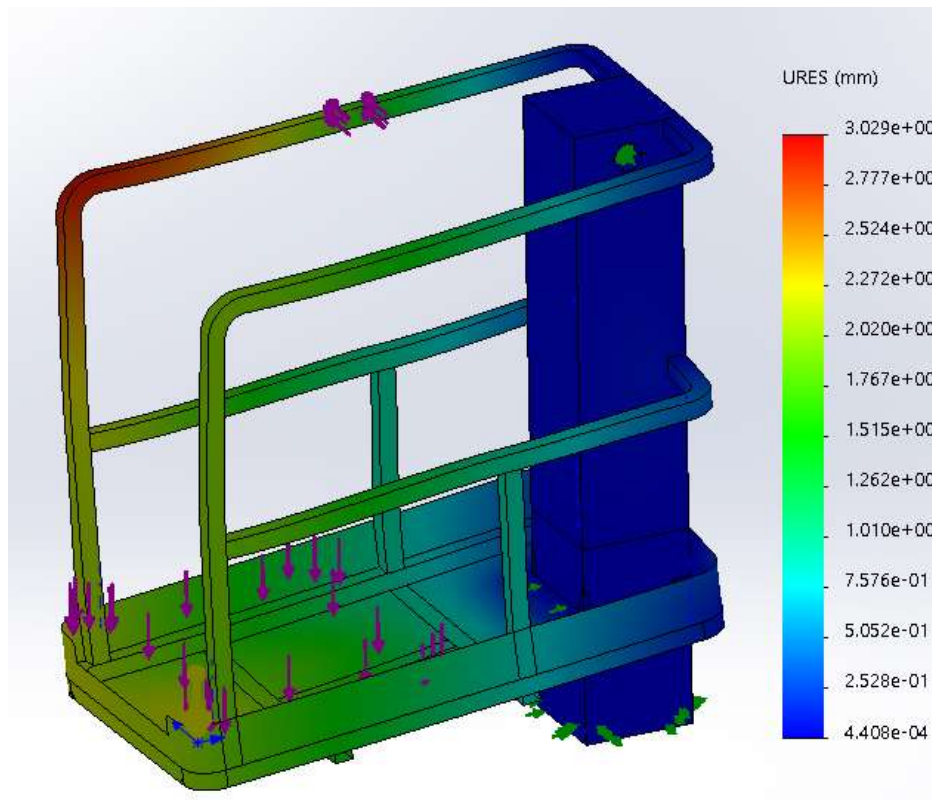


Imagen 59: Desplazamiento (malla estándar)

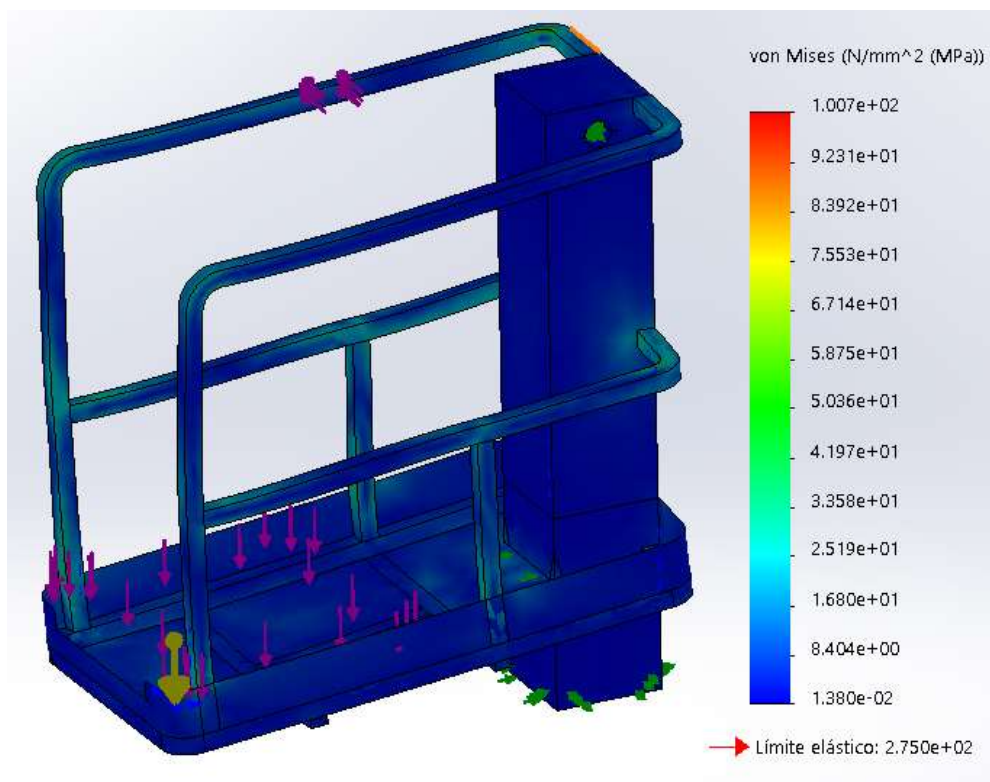


Imagen 60: Tensión cara superior del elemento (malla estándar)

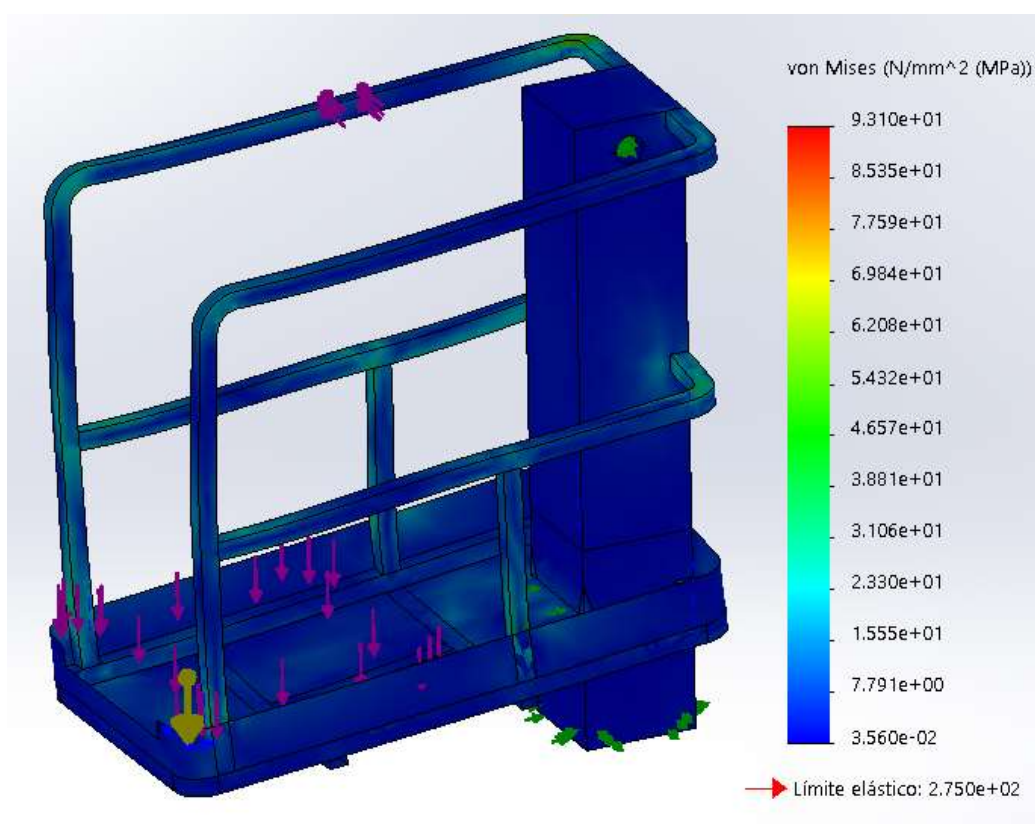


Imagen 61: tensión cara inferior del elemento (malla estándar)

#### **B.3.4. Análisis estático malla gruesa**

Igual que para el análisis de malla estándar, se obtienen unos resultados (*ver anexo 2.2.3.*) que se introducirán en las tablas de resultados.

#### **B.3.5. Análisis estático malla muy gruesa**

Se ejecuta el análisis para obtener los resultados de desplazamiento y tensiones (*ver anexo 2.2.4.*).

### **B.4. CONFIGURACIÓN MALLADO 4 (tamaño mínimo del elemento 20mm):**

#### **B.4.1. Análisis estático malla muy fina**

La configuración de mallado 4, para la malla muy finas se centra en el parámetro de tamaño mínimo con valor de 20mm (*ver anexo 2.3.1.*)

#### **B.4.2. Análisis estático malla fina**

Una vez se ejecuta el análisis, se recopilan los resultados en tablas. Los resultados se obtienen de la misma forma que en el análisis estático malla estándar (*ver anexo 2.3.2.*).

#### **B.4.3. Análisis estático malla estándar.**

Se muestran los resultados obtenidos en SolidWorks. Desplazamiento, tensión superior y tensión inferior. Al finalizar los estudios se introducen los resultados en tablas y con la ayuda de gráficas se extraen las conclusiones de configuración de mallado.

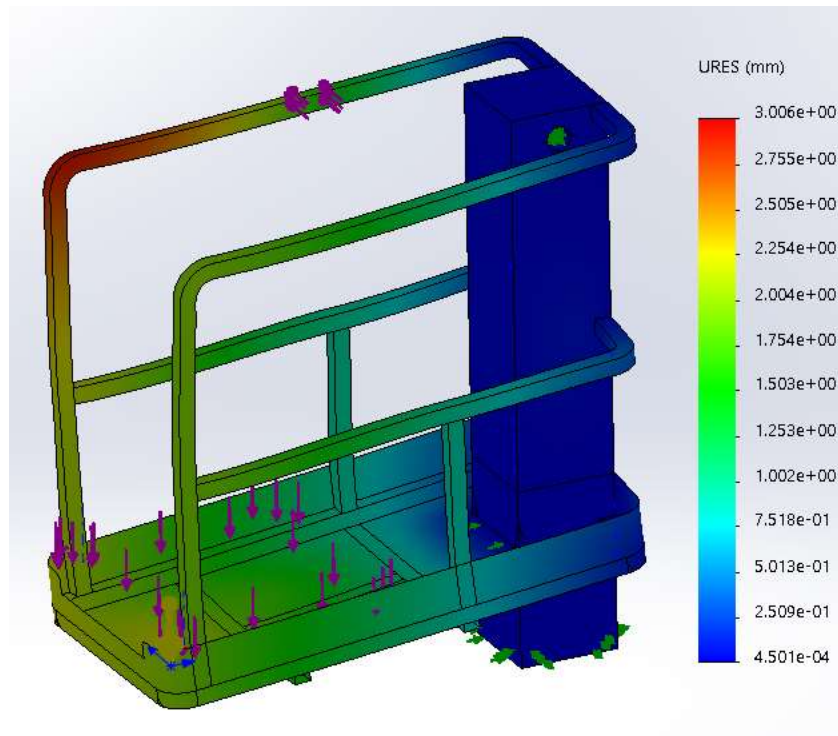


Imagen 62: Desplazamiento (malla estándar)

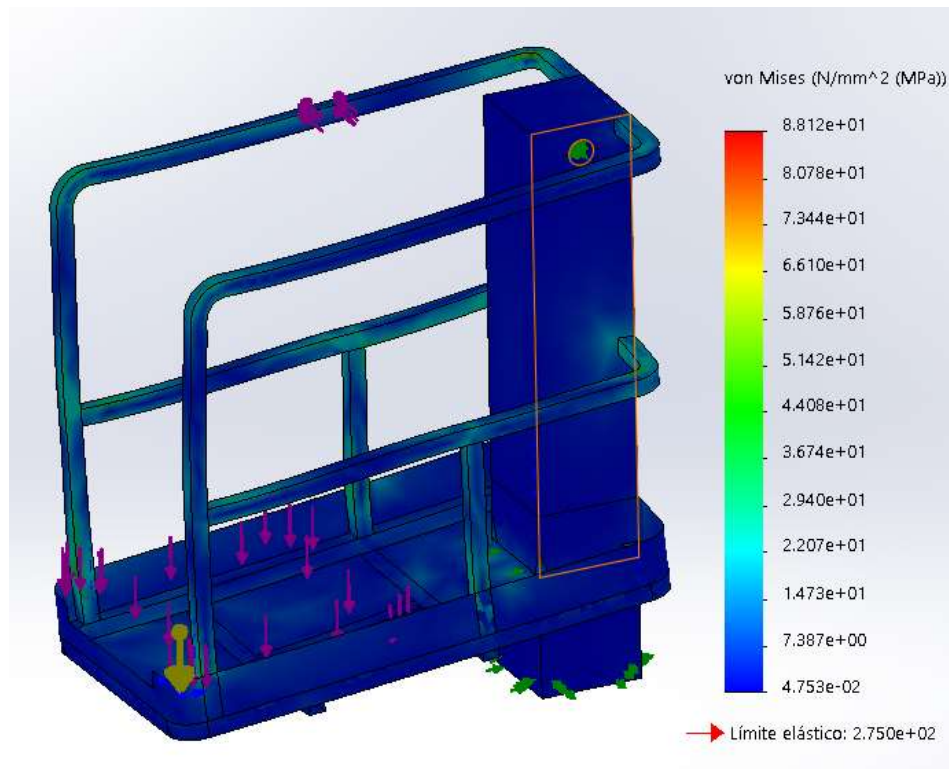


Imagen 63: Tensión cara superior del elemento (malla estándar)



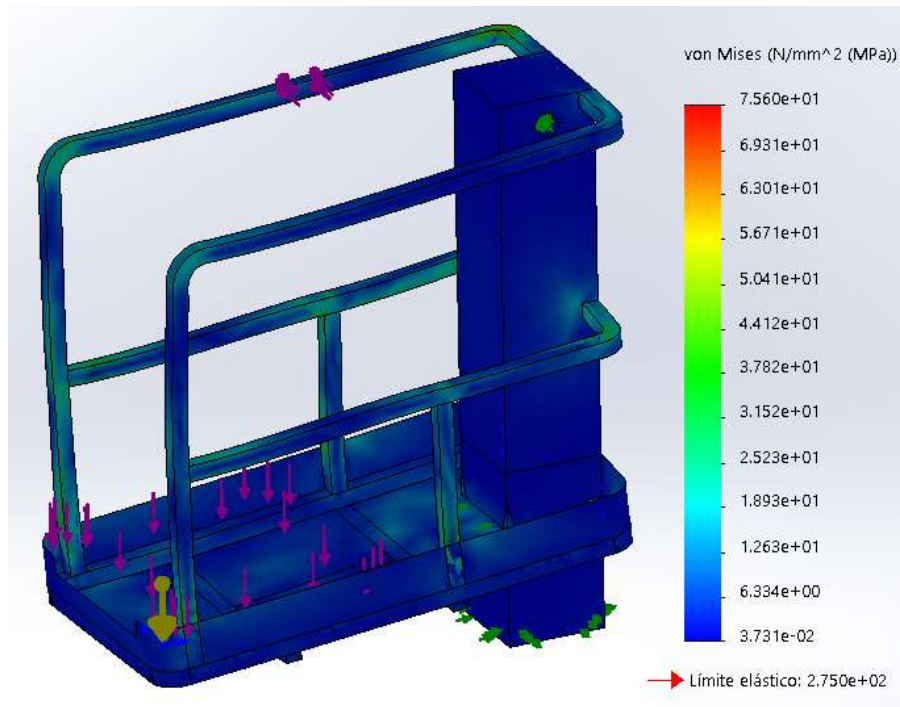


Imagen 64: tensión cara inferior del elemento (malla estándar)

#### B.4.4. Análisis estático malla gruesa

Con los parámetros definidos para malla gruesa y los determinados para esta configuración de mallado se crean los resultados que nos diferenciarán los demás análisis del estudio (ver anexo 2.3.3.).

#### B.4.5. Análisis estático malla muy gruesa

Resultados con malla gruesa con 140mm de tamaño máximo y en la configuración de este apartado, 20mm de tamaño mínimo (ver anexo 2.3.4.).

### B.5. CONFIGURACIÓN MALLADO 5 (tamaño mínimo del elemento 25mm):

Como se ha ido realizando en las configuraciones anteriores se dejara como ejemplo el análisis estático para malla estándar.

#### B.5.1. Análisis estático malla muy fina

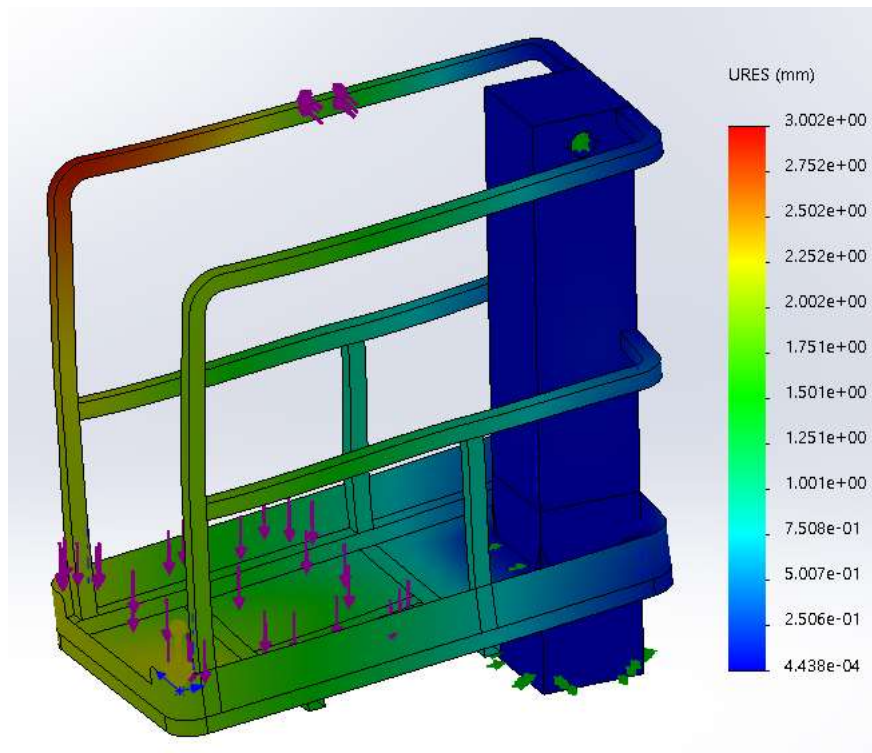
Los resultados obtenidos para este análisis (ver anexo 2.4.1.), se ejecutan con los parámetros de malla muy fina y el valor modificado 25mm.

### B.5.2. Análisis estático malla fina

Ejecutando el análisis se obtienen unos resultados (*ver anexo 2.4.2.*) que se encontraran en las tablas de resultados situadas al finalizar el estudio.

### B.5.3. Análisis estático malla estándar

Se muestran los resultados obtenidos. Las imágenes con los resultados sirven como ejemplo del resto de análisis.



*Imagen 65: Desplazamiento (malla estándar)*

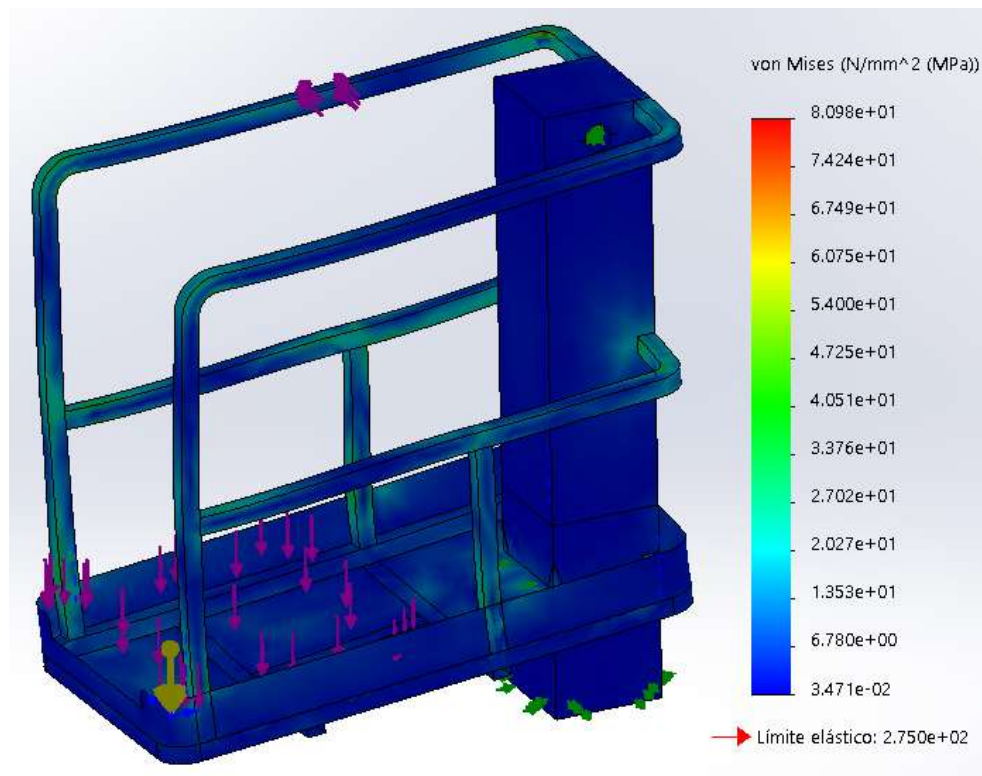


Imagen 66: Tensión cara superior del elemento (malla estándar)

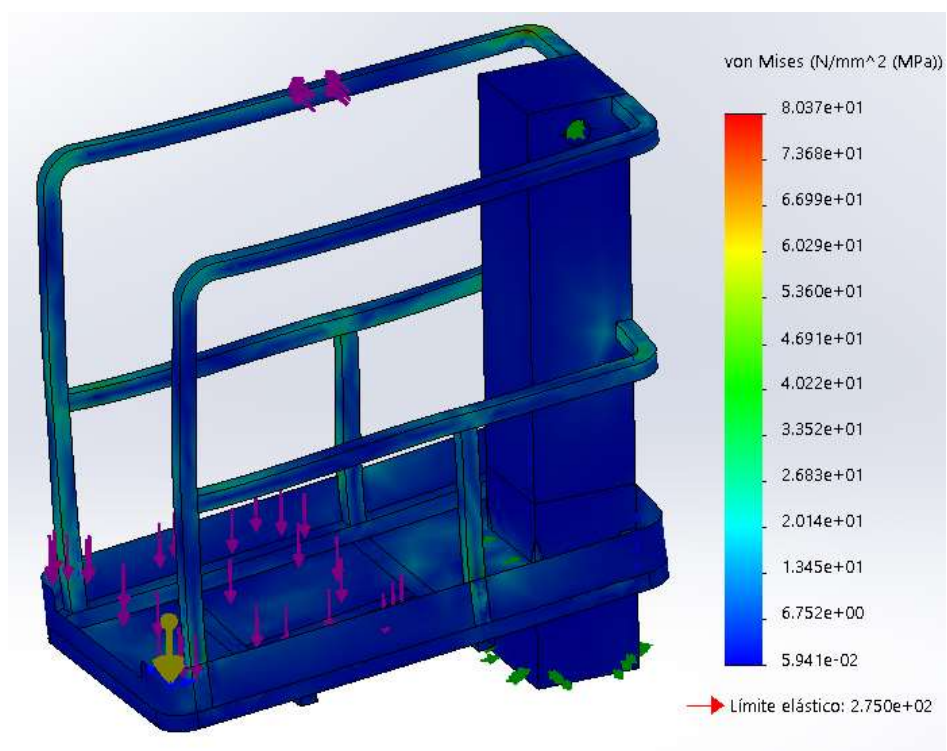


Imagen 67: tensión cara inferior del elemento (malla estándar)



#### **B.5.4. Análisis estático malla gruesa**

Los resultados se han obtenido de la misma forma que en el análisis de malla estándar, cambiando los parámetros de malla (*ver anexo 2.4.3.*).

#### **B.5.5. Análisis estático malla muy gruesa**

Se realiza el análisis con el fin de obtener resultados de desplazamientos y tensiones con malla muy gruesa (*ver anexo 2.4.4.*).

### **B.6. CONFIGURACIÓN MALLADO 6 (tamaño mínimo del elemento 30mm):**

Ultima configuración de mallado, aumentando el tamaño mínimo hasta 30mm, en las mallas fijadas al principio del estudio (muy fina, fina, estándar, gruesa, muy gruesa).

#### **B.6.1. Análisis estático malla muy fina**

En este análisis tenemos que el tamaño mínimo (30mm) es muy similar al tamaño máximo (40mm) determinado para la malla fina. Se ejecuta el estudio y se obtienen los resultados (*ver anexo 2.5.1.*).

#### **B.6.2. Análisis estático malla fina**

Se ejecuta el análisis con los parámetros de mallado, 60mm para el tamaño máximo y 30 mm de tamaño mínimo, y extraen los resultados de desplazamiento (*ver anexo 2.5.2.*).

#### **B.6.3. Análisis estático malla estándar**

Resultados para el análisis de malla estándar.

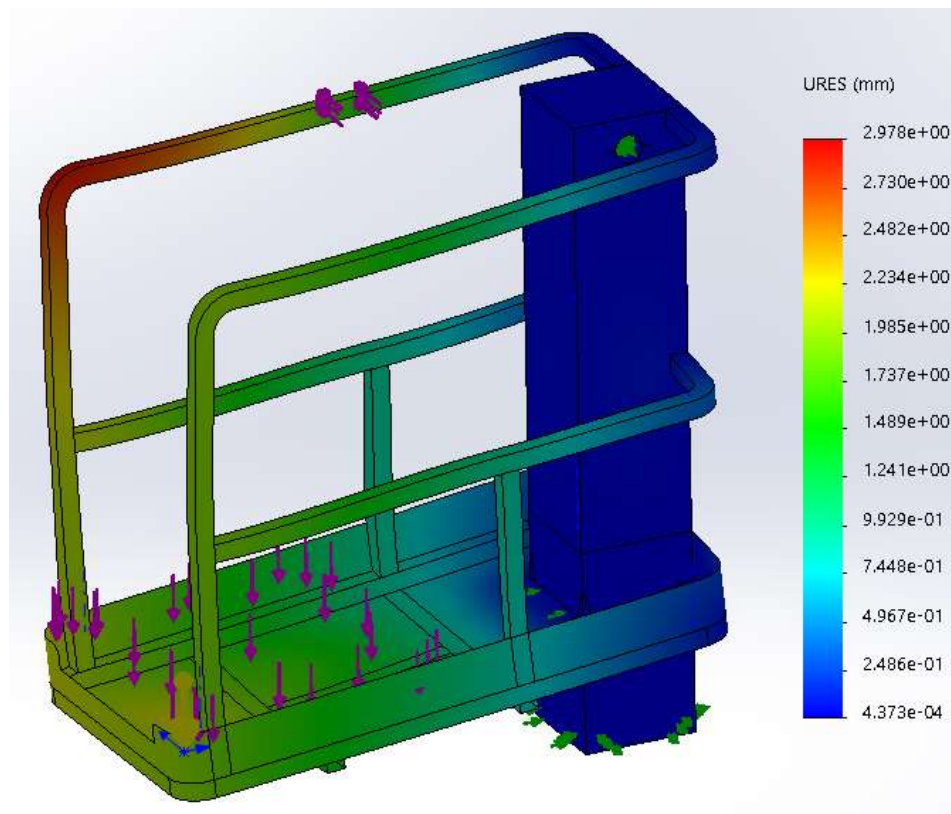


Imagen 68: Desplazamiento (malla estándar)

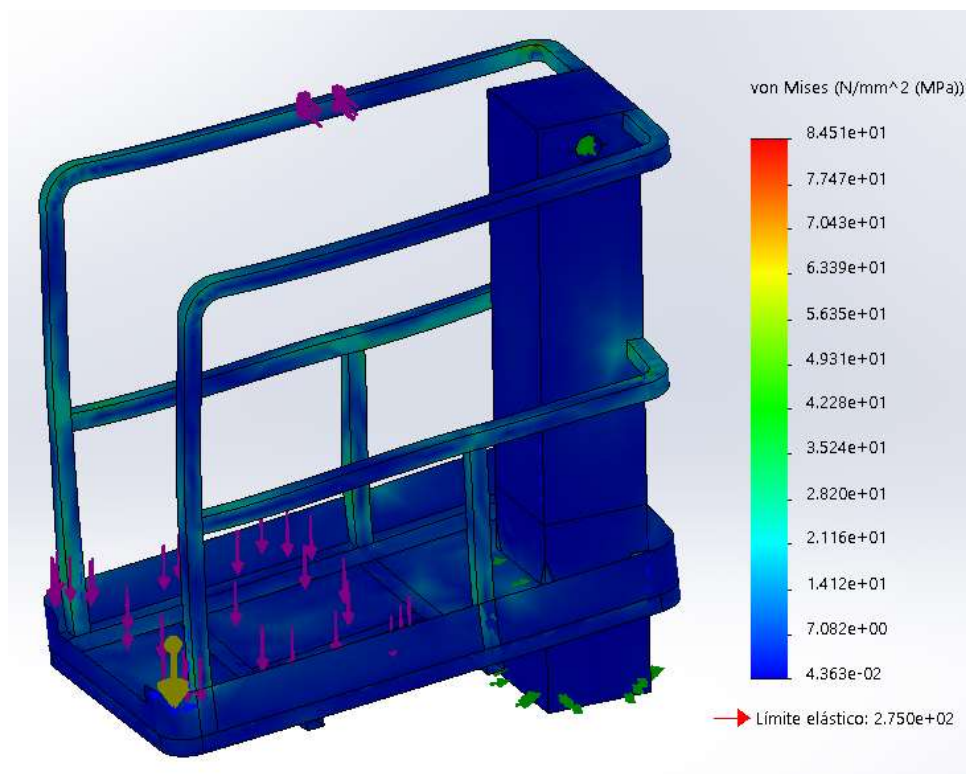


Imagen 69: Tensión cara superior del elemento (malla estándar)

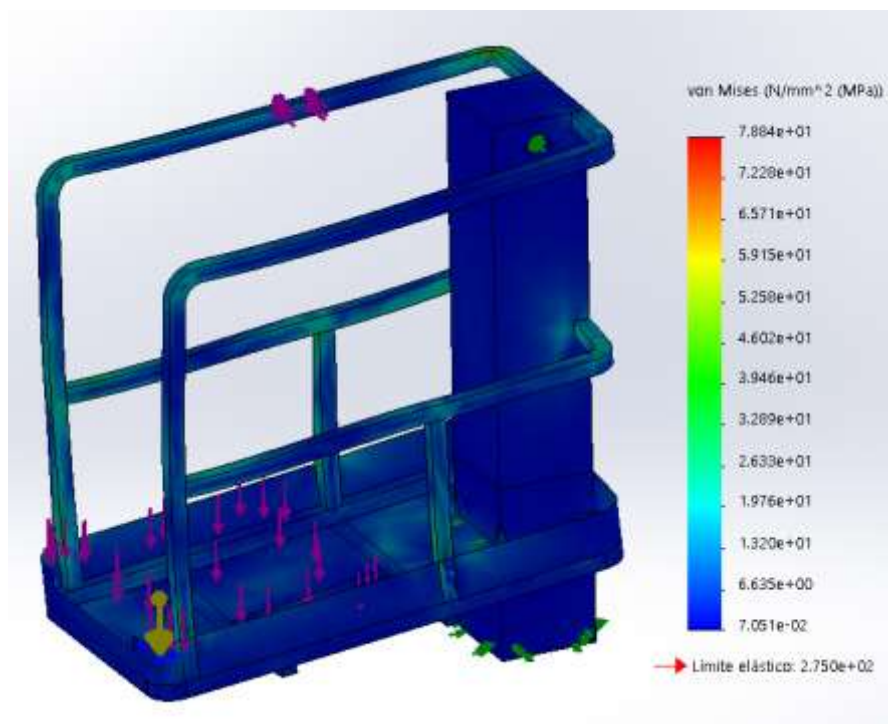


Imagen 70: tensión cara inferior del elemento (malla estándar)

#### B.6.4. Análisis estático malla gruesa

Con los parámetros de mallado según análisis, 120mm de tamaño máximo y 30 de tamaño mínimo, se ejecuta el estudio y se extraen los resultados (ver anexo 2.5.3)

#### B.6.5. Análisis estático malla muy gruesa

140mm de tamaño máximo y 30mm de tamaño mínimo son los parámetros para ejecutar el análisis y sacar resultado (ver anexo 2.5.4.)

Resultados obtenidos en las pruebas realizadas para el segundo estudio (estudio B) de mallado:

Prueba 5mm	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
Descripción malla	Tamaño maximo de elemen	Tamaño mínimo de elemen	Desplazamiento	Tensión Superior	Tensión Inferior
Muy fina	40	5	3,13	117,4	124,6
Fina	60	5	3,10	116,8	125,0
Estandar	90	5	3,06	117,1	122,4
Gruesa	120	5	3,03	112,5	122,0
Muy gruesa	140	5	3,05	115,5	123,2

Tabla 4. B.1.CONFIGURACIÓN MALLADO 1

<b>Prueba 10mm</b>	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
<b>Descripción malla</b>	<b>Tamaño maximo de elemen</b>	<b>Tamaño mínimo de elemen</b>	<b>Desplazamiento</b>	<b>Tensión Superior</b>	<b>Tensión Inferior</b>
Muy fina	40	10	3,12	109,2	97,35
Fina	60	10	3,08	112,2	105,6
Estandar	90	10	3,05	103	110,1
Gruesa	120	10	3,02	102,5	109,6
Muy gruesa	140	10	3,04	102,8	112,3

*Tabla 5. B.2.CONFIGURACIÓN MALLADO 2*

<b>Prueba 15mm</b>	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
<b>Descripción malla</b>	<b>Tamaño maximo de elemen</b>	<b>Tamaño mínimo de elemen</b>	<b>Desplazamiento</b>	<b>Tensión Superior</b>	<b>Tensión Inferior</b>
Muy fina	40	15	3,10	102,7	96,22
Fina	60	15	3,08	100,1	92,42
Estandar	90	15	3,00	88,45	76,95
Gruesa	120	15	2,99	98,3	92,28
Muy gruesa	140	15	3,02	100,5	92,77

*Tabla 6. B.3.CONFIGURACIÓN MALLADO 3*

<b>Prueba 20mm</b>	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
<b>Descripción malla</b>	<b>Tamaño maximo de elemen</b>	<b>Tamaño mínimo de elemen</b>	<b>Desplazamiento</b>	<b>Tensión Superior</b>	<b>Tensión Inferior</b>
Muy fina	40	20	3,08	84,07	80,21
Fina	60	20	3,05	91,73	77,9
Estandar	90	20	3,01	88,12	75,6
Gruesa	120	20	2,98	87,63	75,41
Muy gruesa	140	20	2,99	90,43	77,24

*Tabla 7. B.4.CONFIGURACIÓN MALLADO 4*

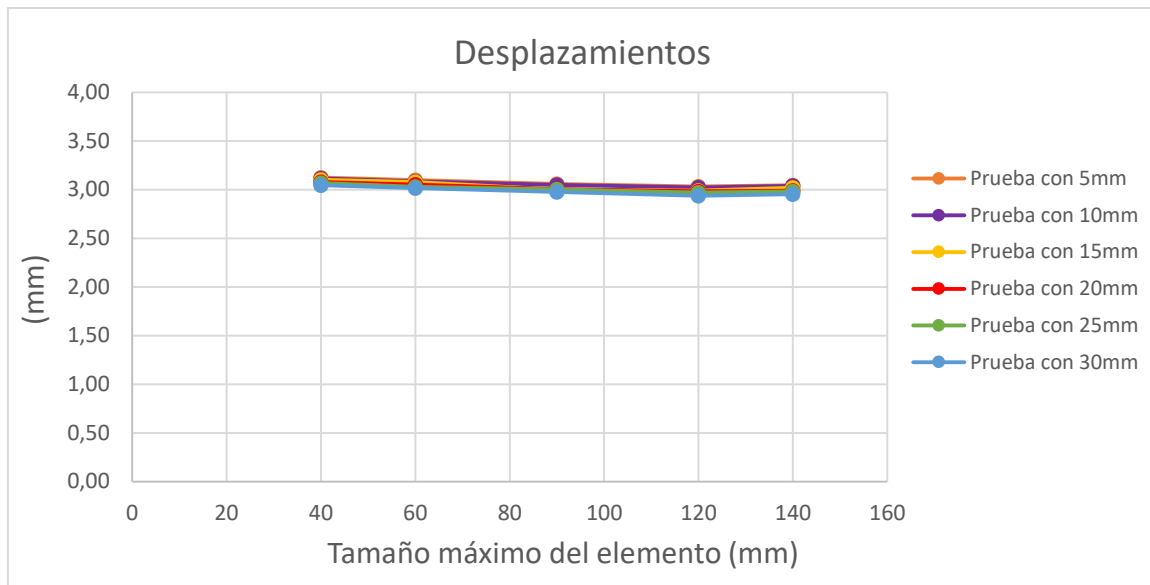
<b>Prueba 25mm</b>	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
<b>Descripción malla</b>	<b>Tamaño maximo de elemen</b>	<b>Tamaño mínimo de elemen</b>	<b>Desplazamiento</b>	<b>Tensión Superior</b>	<b>Tensión Inferior</b>
Muy fina	40	25	3,07	83,6	80,17
Fina	60	25	3,03	81,27	80,69
Estandar	90	25	3,00	80,98	80,37
Gruesa	120	25	2,97	84,88	80,32
Muy gruesa	140	25	2,98	85,06	80,48

*Tabla 8. B.5.CONFIGURACIÓN MALLADO 5*

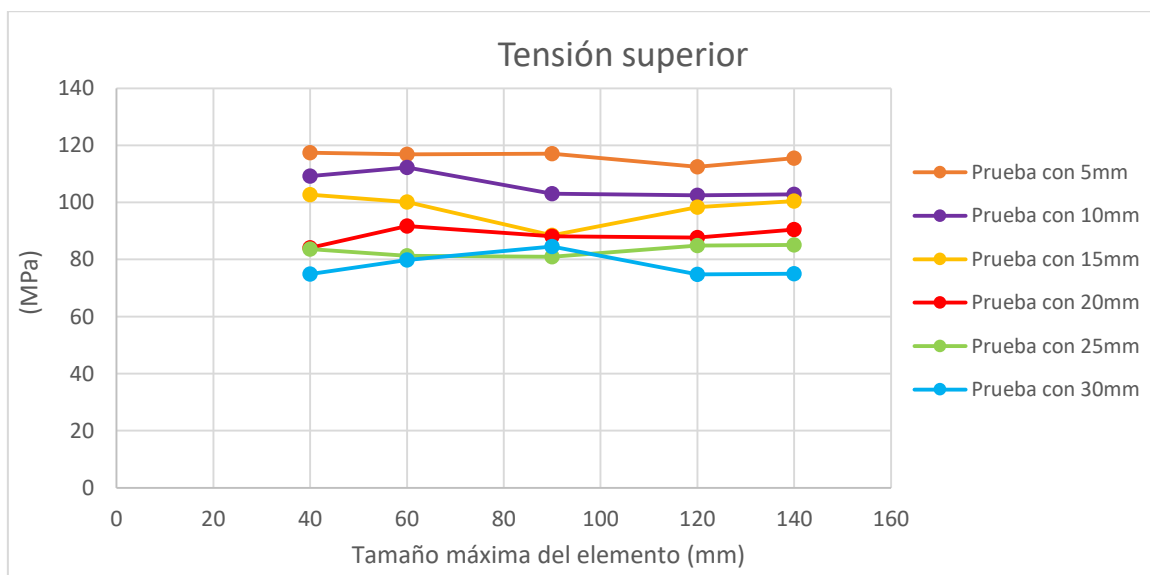
<b>Prueba 30mm</b>	Número mín. de elementos en un círculo = 32				
<b>Descripción malla</b>	<b>Tamaño maximo de elemen</b>	<b>Tamaño mínimo de elemen</b>	<b>Desplazamiento</b>	<b>Tensión Superior</b>	<b>Tensión Inferior</b>
Muy fina	40	30	3,05	74,86	79,92
Fina	60	30	3,02	79,85	77,73
Estandar	90	30	2,98	84,51	78,84
Gruesa	120	30	2,94	74,8	65,98
Muy gruesa	140	30	2,95	74,97	66

*Tabla 9. B.6.CONFIGURACIÓN MALLADO 6*

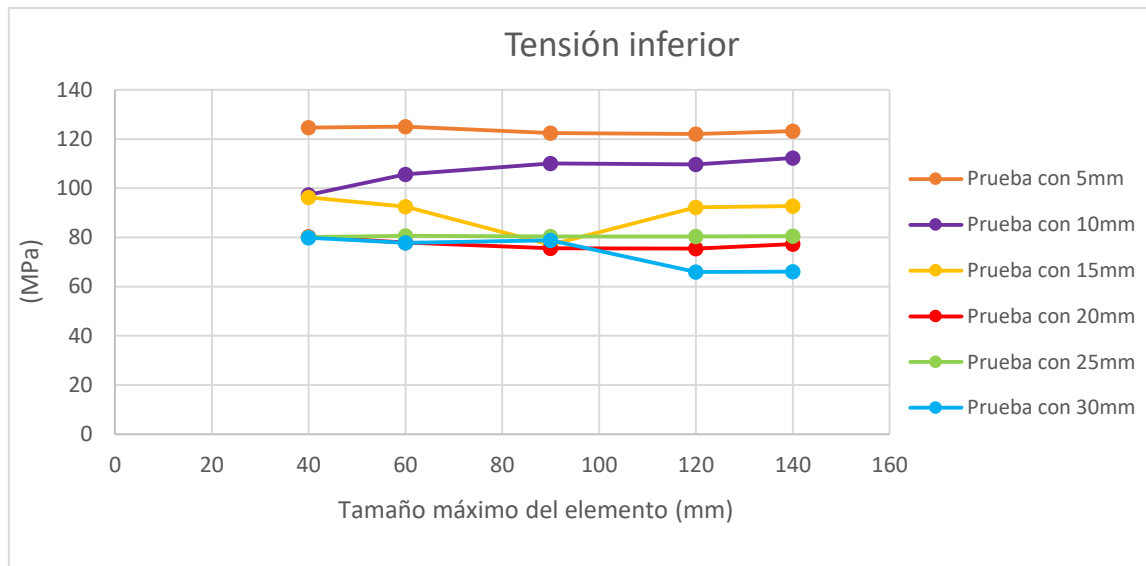
Se establecen unas gráficas con los resultados obtenidos para visualizar de manera más cómoda las desviaciones producidas en los mallados establecidos:



Gráfica 4: Desplazamientos con 5, 10, 15, 20, 25, 30 mm Vs Tamaño máximo del elemento



Gráfica 5: Tensión superior con 5, 10, 15, 20, 25, 30 mm Vs Tamaño máximo del elemento



Gráfica 6: Tensión inferior con 5, 10, 15, 20, 25, 30 mm Vs Tamaño máximo del elemento

Las **conclusiones** para este segundo estudio de parámetros de mallado se resumen en la selección del parámetro de malla fina (60mm) ya que es el valor intermedio entre 40 y 90, y todos ellos aceptables. Sobre el parámetro de tamaño mínimo se observa en las gráficas que la malla de 5mm es más constante en cuanto a resultados, ya que da valores más estables para cada tamaño máximo.

### 2.3.3. ESTUDIO DEL CONJUNTO DE LA ESTRUCTURA ELEVADORA (MÁSTIL Y PLATAFORMA)

Se dimensiona la longitud del mástil vertical teniendo en cuenta la altura de elevación de la plataforma (Imagen 71).

## LONGITUDES Y SECCIONES DEL MÁSTIL:

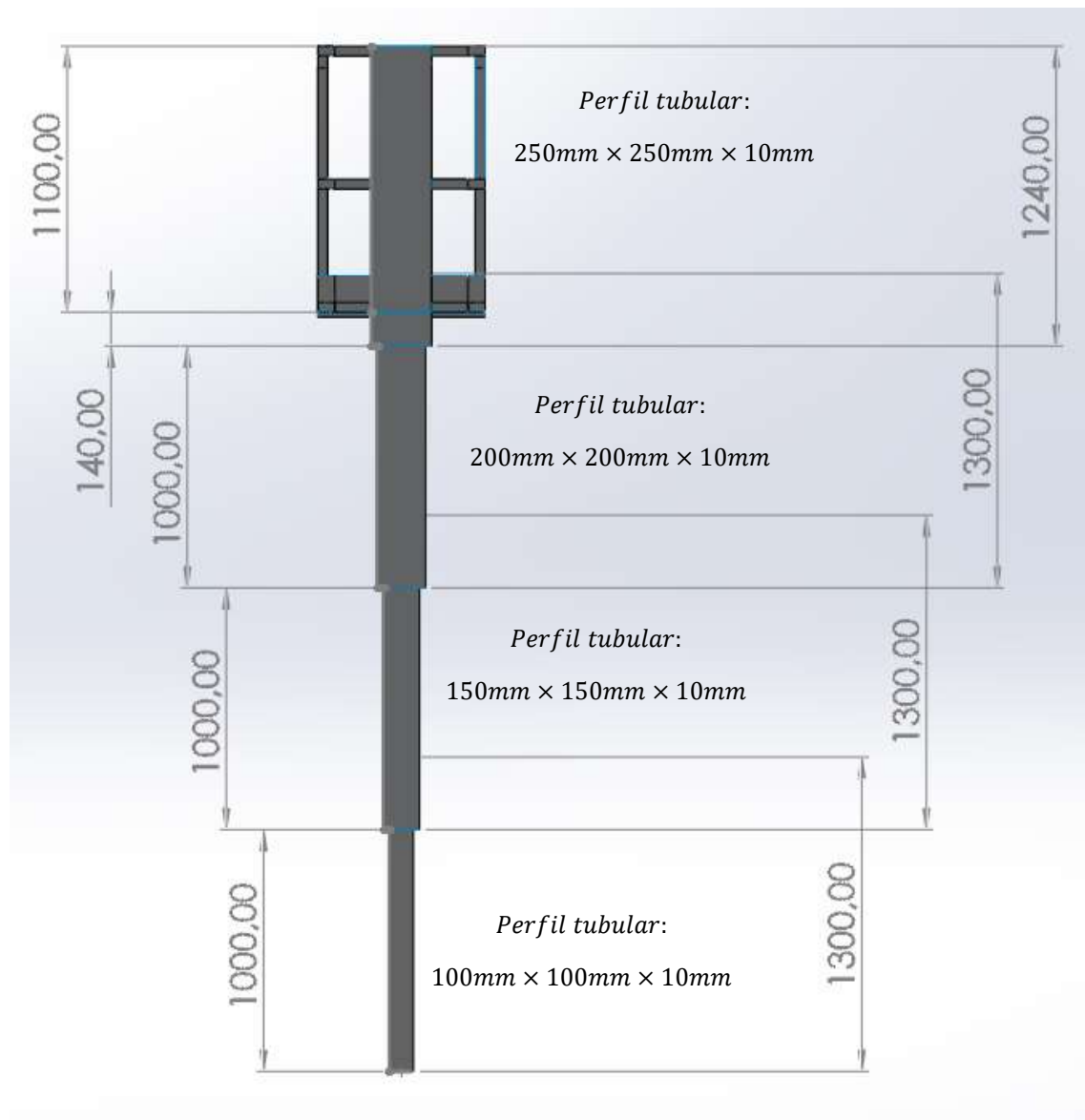


Imagen 71: Longitud y secciones de los perfiles del mástil

El diseño se confecciona con un solape entre perfiles de 300mm, para proporcionar rigidez y que en todo momento se encuentren en contacto.

Simulando el pistón como un cilindro en el interior de los perfiles, se generan las conexiones con el bulón de tipo pasador, así como los contactos de tipo unión rígida entre los componentes y los diferentes perfiles del mástil.

Se colocan sujeciones fijas en la base del mástil, compuesto por el perfil y el pistón.

Para el análisis estático de la plataforma se han considerado las cargas según la norma y la acción de la gravedad.

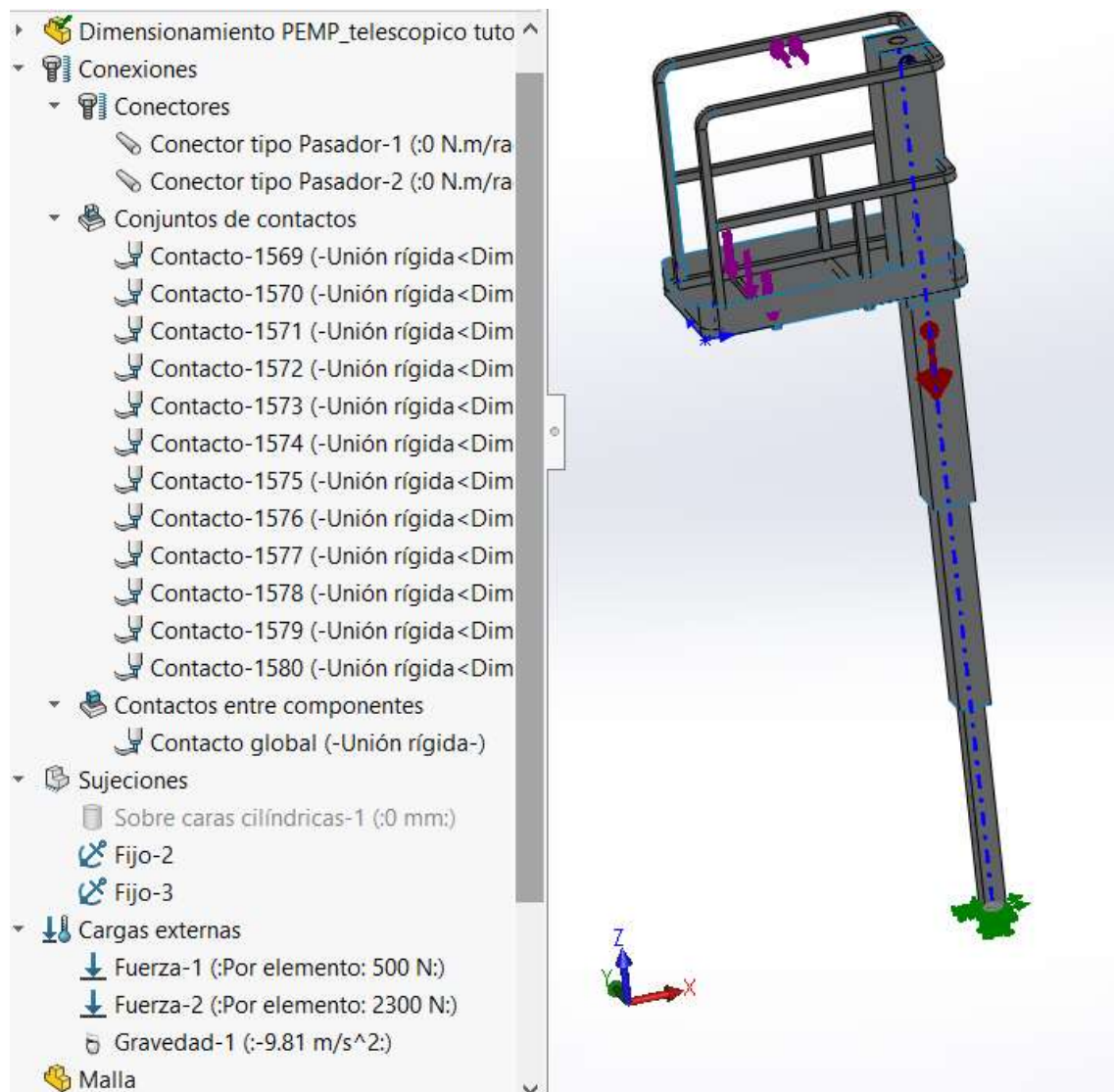


Imagen 72: Análisis del conjunto de la plataforma.

Se genera una malla ideal (Imagen 73), con los parámetros de mallado determinados en los estudios realizados.

Malla basada en curvatura, tamaño máximo del elemento 60, tamaño mínimo del elemento 5 y 32 como número mínimo de elementos en un arco.



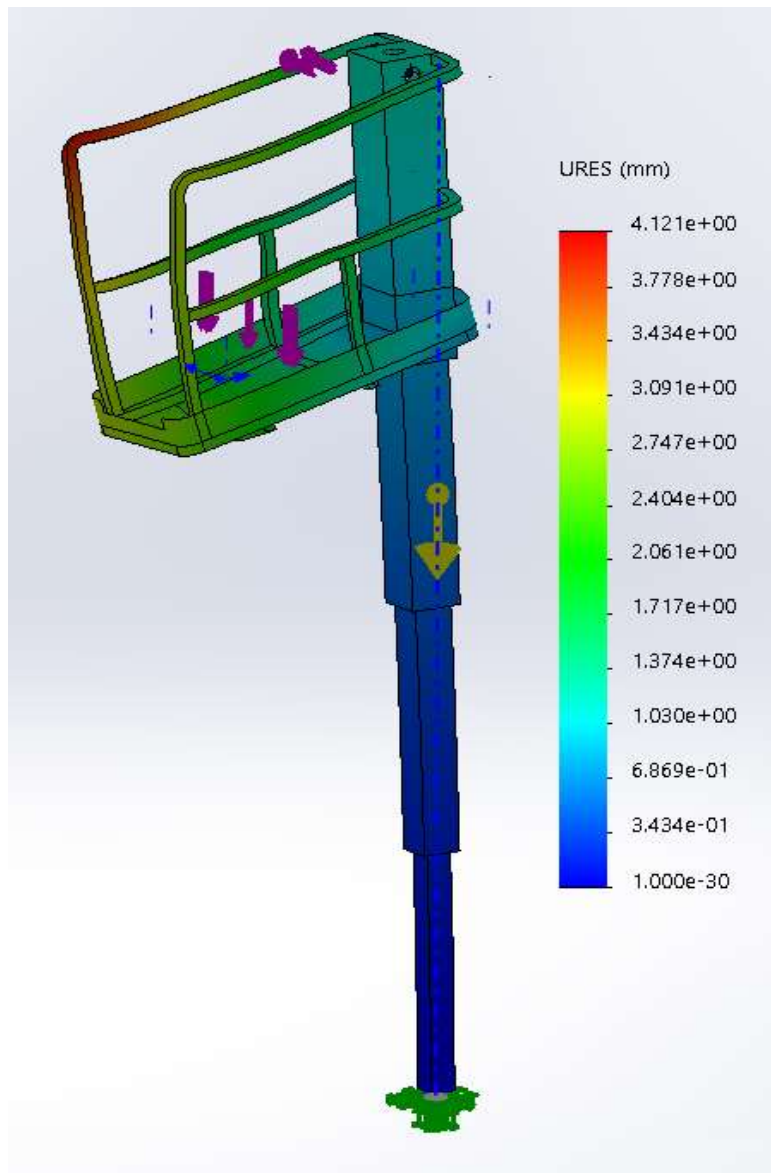
Nombre de estudio	Optimización (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	60 mm
Tamaño mín. de elemento	5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	470851
Número total de elementos	314986
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:48
Nombre de computadora	M-POR1341



*Imagen 73: Mallado determinado*

Resultados obtenidos para el conjunto de la PEMP:

## Desplazamientos.



*Imagen 74: Desplazamientos producidos con el mallado determinado*

Con el desplazamiento obtenido se comprueba si se cumplen la condición de desplazamiento admisible, tomando como longitud de referencia la longitud total del mástil telescópico.

Debido a la configuración de la estructura empotrada y en voladizo se toma un criterio más restrictivo para el análisis de desplazamientos admisibles.

$$\text{Límite desplazamiento} \leq \frac{\text{Longitud del elemento}}{500}$$

$$4,121 \leq \frac{4240}{500}$$

$$4,121\text{mm} \leq 8,48\text{mm}$$

El material y perfil seleccionado cumple, pero se puede observar en la condición de desplazamiento admisible un sobredimensionamiento de la estructura, ya que existe una gran diferencia entre el límite de desplazamiento producido en la estructura y el desplazamiento admisible. Para optimizar el diseño, se analizará y dimensionará nuevamente la estructura hasta encontrar un perfil de acero S275JR que se ajuste más al desplazamiento admisible de 8,48mm, sin llegar a superarlo.

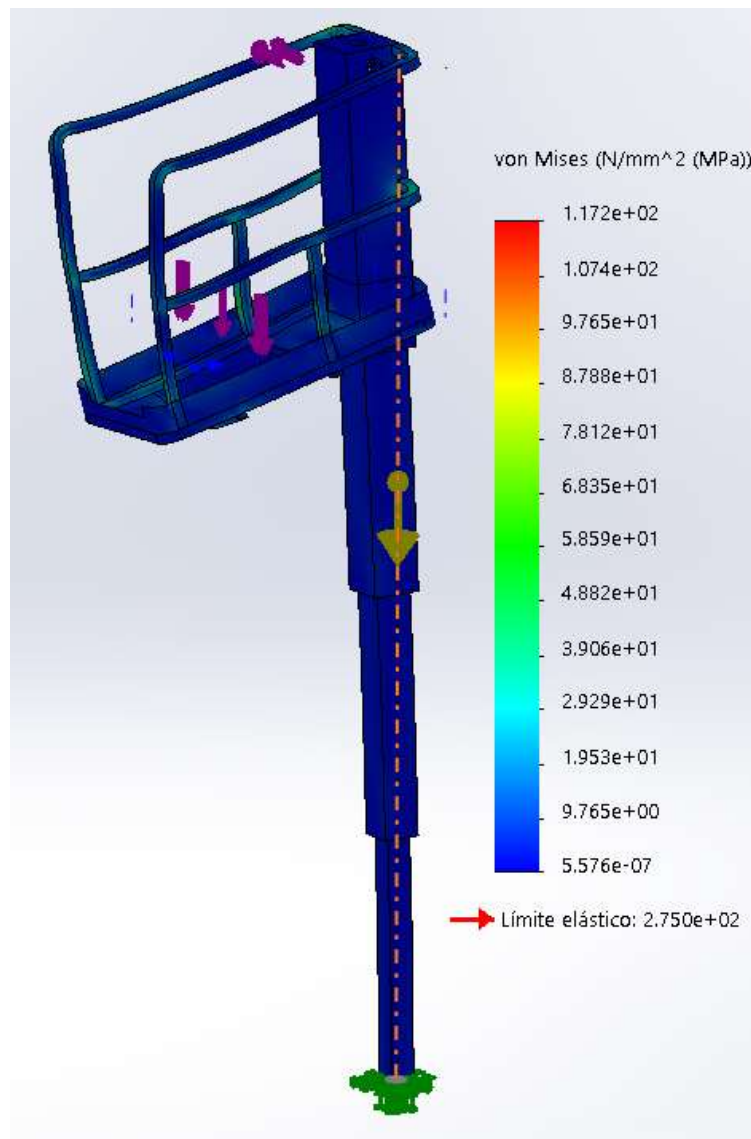
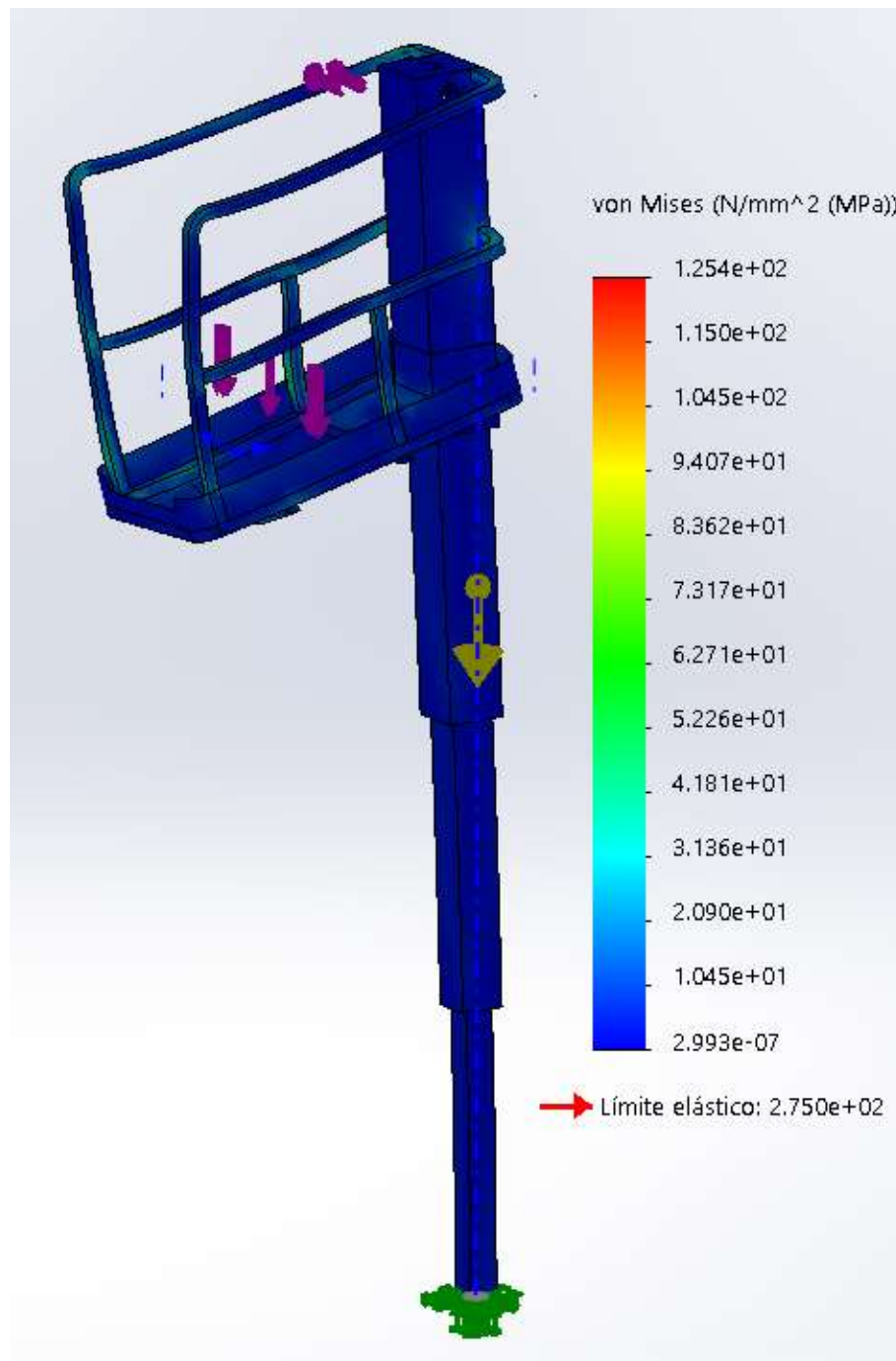


Imagen 75: Tensión superior con mallado determinado



*Imagen 76: Tensión inferior con mallado determinado*

Del análisis tensional en el mástil, se observa que tenemos margen para la optimización. Por el contrario en la zona de las barandillas la tensión supera la tensión admisible, por lo que se procede a aumentar el espesor y se comprueba de nuevo. El punto crítico se localiza en la zona curva de la barandilla (Imagen 77 y 78).

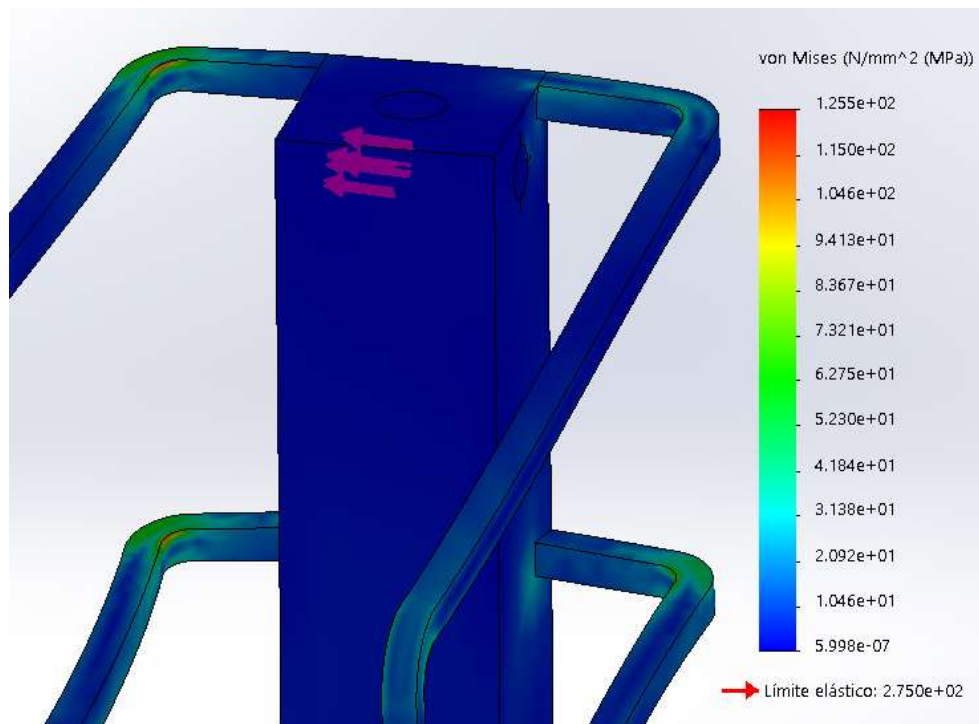


Imagen 77: Zonas de tensiones máximas

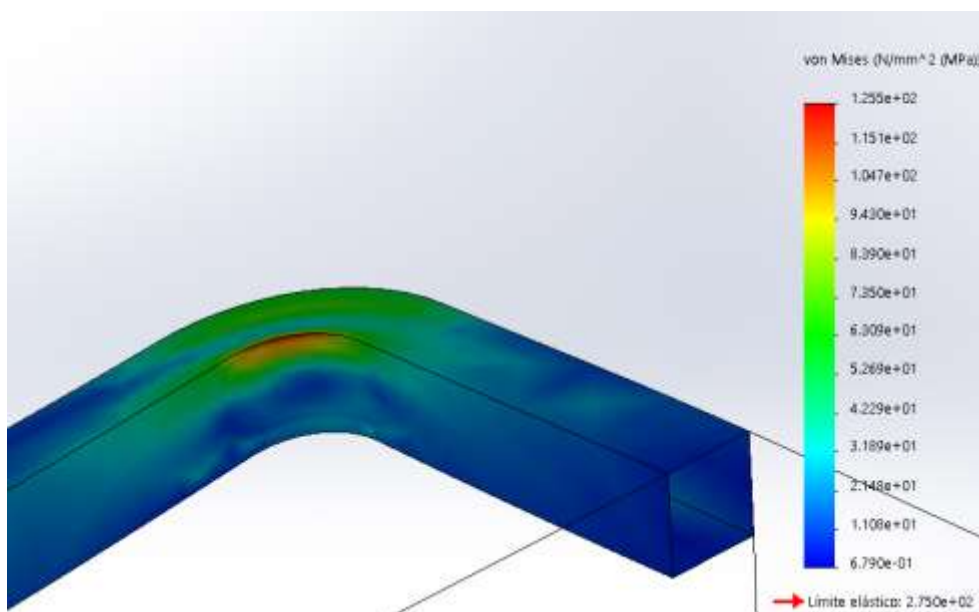
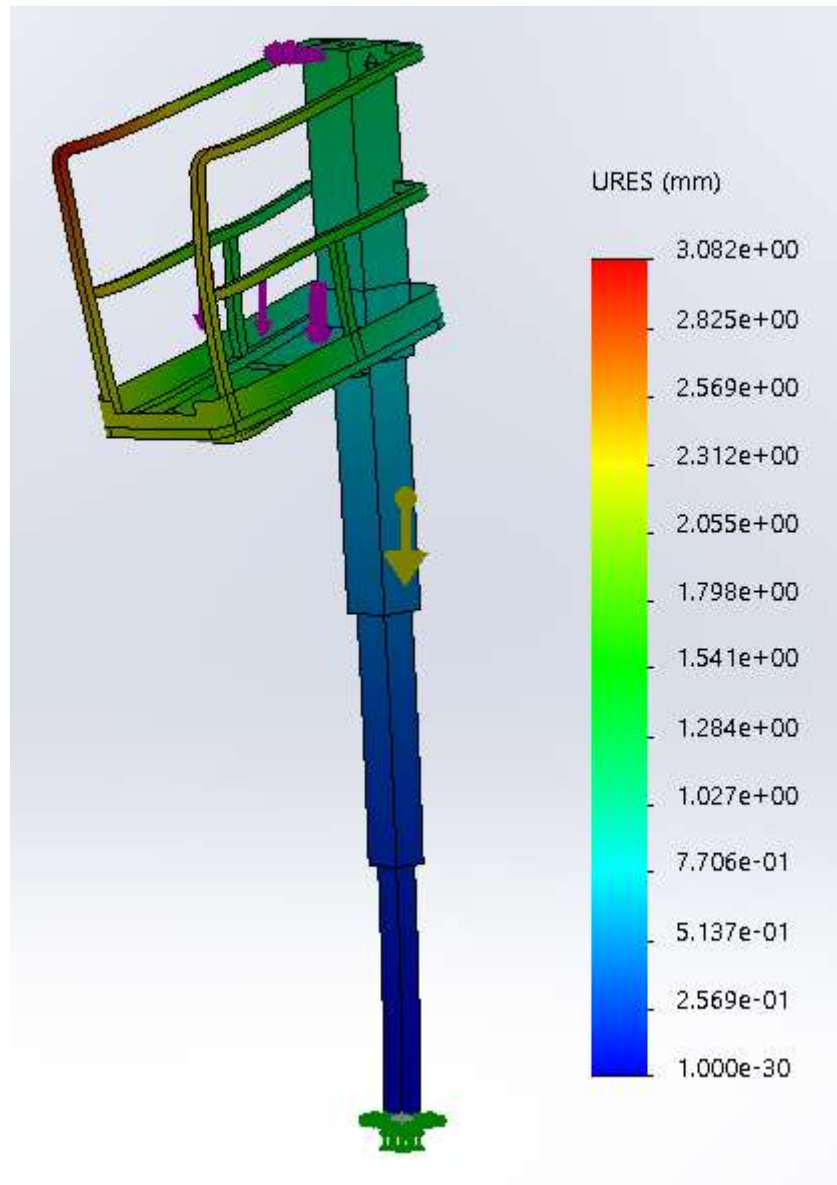


Imagen 78: Punto crítico

El tramo más solicitado de la barandilla, se centra en la zona curva del perfil. Se generan tensiones de tracción en el radio interior de la barandilla, producidas por la fuerza de 500N.

## ANALISIS CAMBIANDO ESPESOR DE LA BARANDILLA.

Para que el análisis tensional cumpla las condiciones de diseño se aumenta el espesor de la barandilla, ya que es el elemento más crítico de la estructura, hasta conseguir que la tensión en la estructura sea inferior a la admisible.



*Imagen 79: Desplazamientos con el espesor del perfil de la barandilla modificado*

La barandilla superior era el elemento que más desplazamiento presentaba. Al aumentar el espesor del perfil utilizado, se ha incrementado su rigidez y su desplazamiento a disminuido.

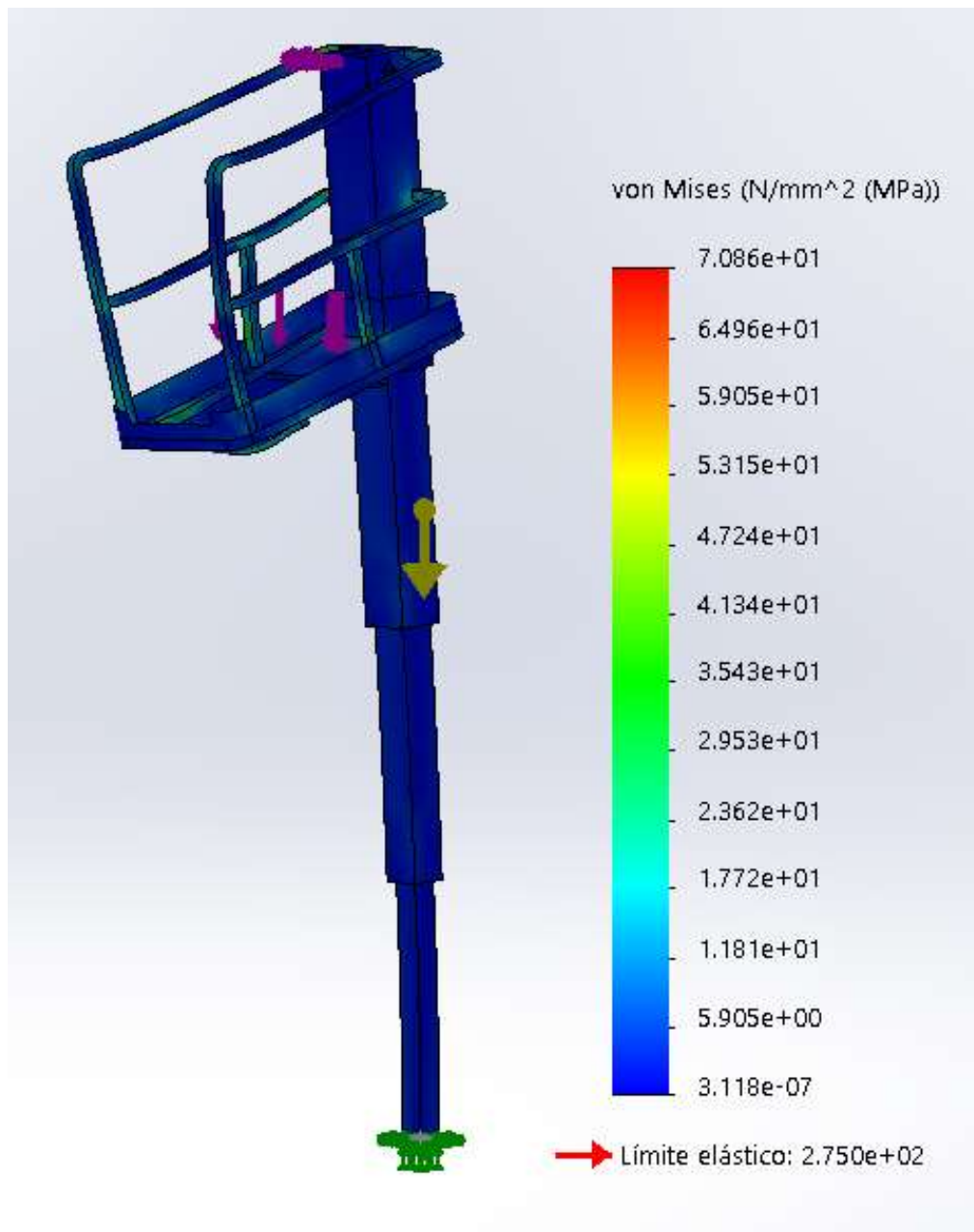


Imagen 80: Tensión superior con el espesor del perfil de la barandilla modificado



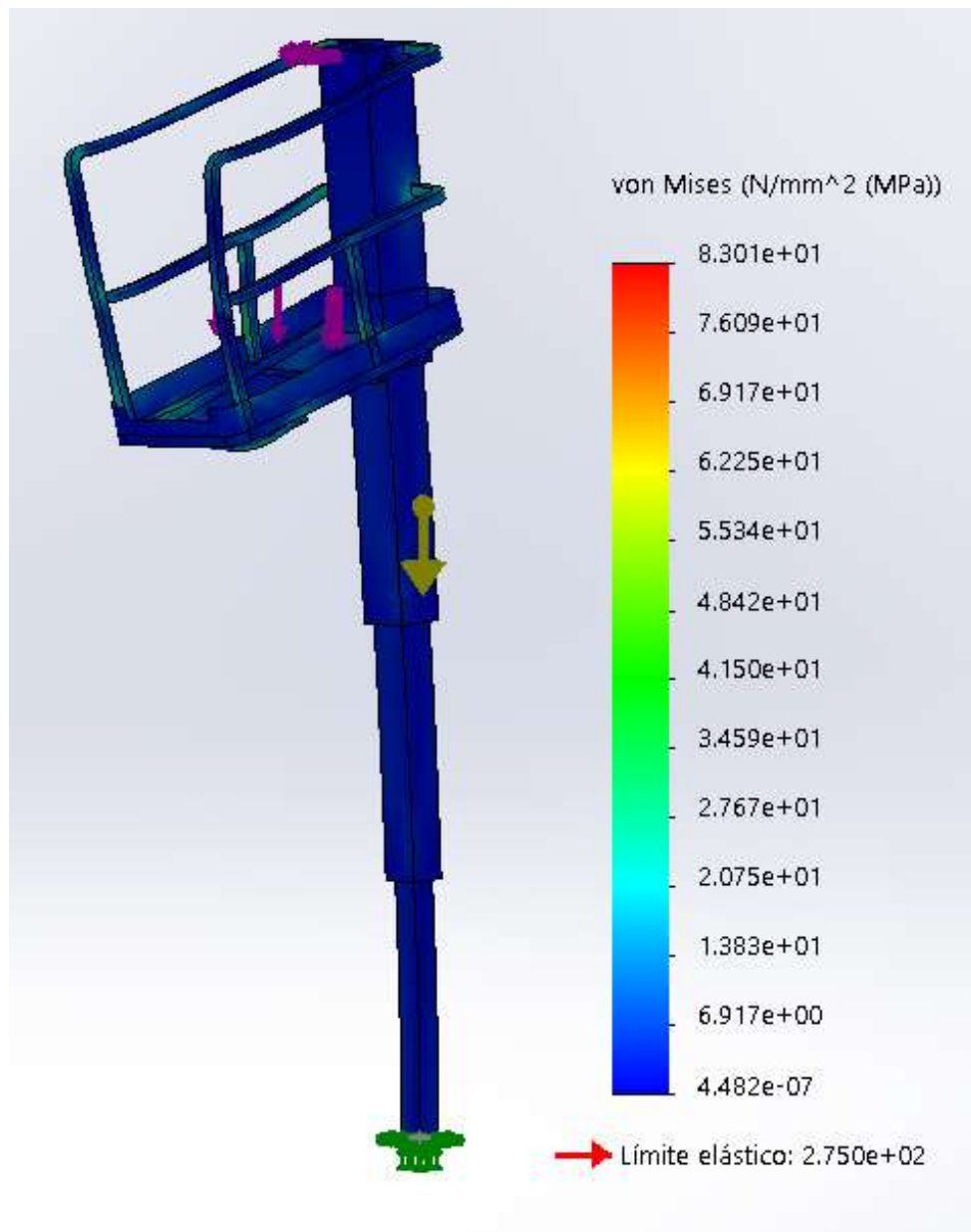


Imagen 81: Tensión inferior con el espesor del perfil de la barandilla modificado

$$\sigma_{adm} > \sigma_{perfil}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{Límite elástico}}{C_s}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{Límite elástico}}{C_s} = \frac{275}{3} = 91,7 \text{ MPa}$$

$$91,7 \text{ MPa} > 83,01 \text{ MPa}$$



Aumentando el espesor del perfil de la barandilla de 2mm a 3mm se cumple la condición de diseño de resistencia. Cumple holgadamente el análisis estático en deformaciones.

#### 2.3.4. OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURA DEL MÁSTIL

La finalidad de la optimización es poder reducir costes en el material y peso de la estructura. Dicha optimización consiste en aproximar los valores de tensión del perfil y desplazamiento límite a los valores admisibles, sin llegar a superarlos, es decir cumplir con las condiciones de diseño.

Condición de diseño de resistencia:

$$\sigma_{adm} > \sigma_{perfil}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{Límite elástico}}{C_s}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{Límite elástico}}{C_s} = \frac{275MPa}{3} = 91,7MPa$$

Condición de diseño de rigidez:

$$\text{Límite desplazamiento} \leq \frac{\text{Longitud del elemento}}{500}$$

$$\text{Límite desplazamiento} \leq \frac{4240mm}{500mm} = 8,48mm$$

Centramos la optimización en el mástil inferior, ya que por sus dimensiones es el más desfavorable (perfil cuadrado 100x100mm) y mantendremos uniformidad de espesor en todas las secciones del mástil.

Al estar determinadas las dimensiones exteriores por el diseño del mástil y ser un perfil hueco, el espesor será el dato influyente en este cálculo. Si se reduce el espesor del perfil, aumenta su tensión.

La optimización se realiza calculando la tensión del perfil. En primer lugar se calcula el momento de inercia total del perfil. El momento de inercia total del perfil se obtiene con la diferencia entre el momento de inercia producido en el exterior del perfil y el momento de inercia en el interior.

$$I_{ZT} = I_{Zext} - I_{Zint} \quad I_{Zext/int} = \frac{b \times h^3}{12}$$

Una vez calculado el momento de inercia total, se procede a obtener el módulo resistente a flexión, el cual es el cociente entre inercia y distancia máxima.

$$W_Z = \frac{I_{ZT}}{y_{max}}$$

La distancia máxima, se refiere a la longitud máxima al centro de gravedad. En este caso nos encontrarnos ante un perfil de sección cuadrada por lo tanto el centro de gravedad estará en la mitad del perfil.

Por último se calcula la tensión que es el cociente entre el momento flector calculado en apartados anteriores y el módulo resistente a flexión.

$$\sigma_{perfil} = \frac{M}{W_Z}$$

Cálculos realizados para la selección del perfil más óptimo:

Se realizan diferentes pruebas con perfiles de distinto espesor hasta encontrar un perfil con tensión similar a la admisible, sin llegar a superarla.

- Perfil (100x100x10mm): Se aplica la condición de diseño y se observa que existe margen para optimizar el perfil (ver anexo 3.1.)
- Perfil (100x100x6mm): Se cumple la condición de diseño pero se puede seguir ajustando (ver anexo 3.2)
- Perfil (100x100x4mm):

$$I_{Zext} = \frac{100 \times 100^3}{12} = 8,33 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{Zext} = \frac{92 \times 92^3}{12} = 5,96 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{zT} = (8,33 \times 10^6) - (5,96 \times 10^6) = 23,63 \times 10^5 mm^4$$

$$W_z = \frac{23,63 \times 10^5}{\frac{100}{2}} = 47267,84 mm^3$$

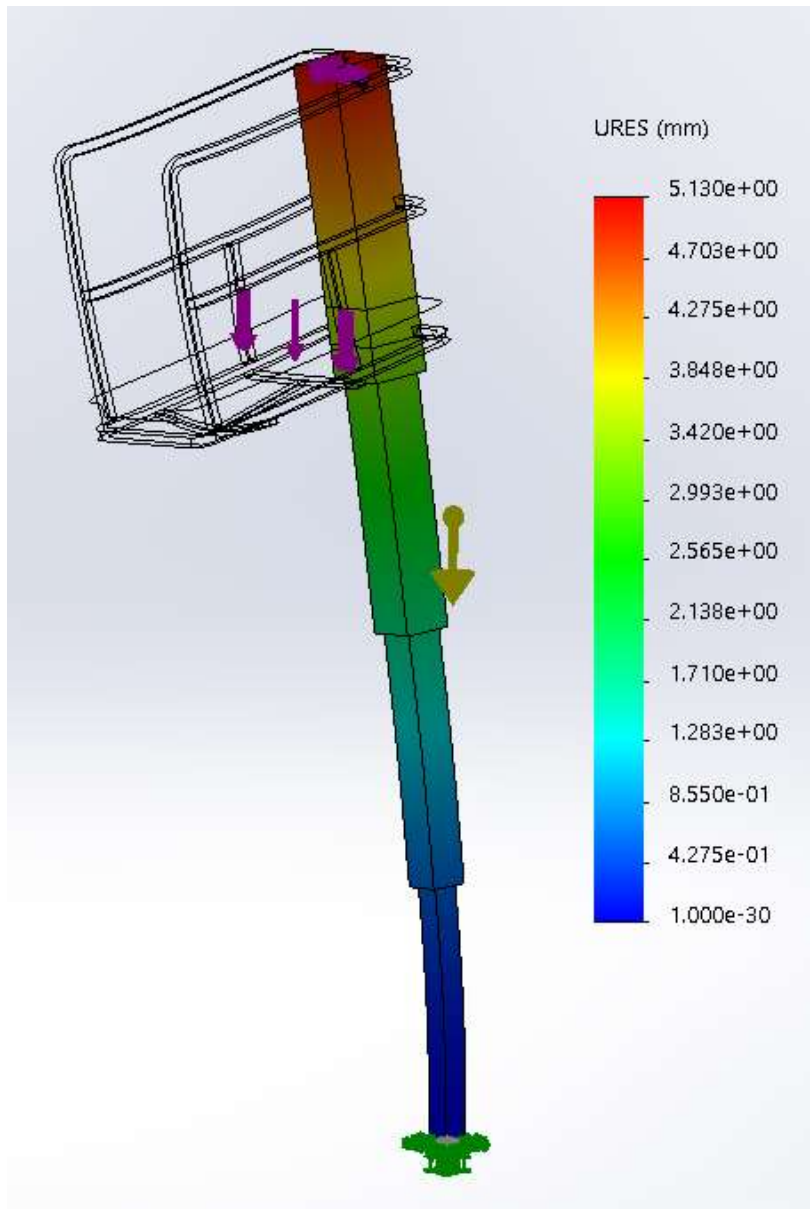
$$\sigma_{perfil} = \frac{4063500}{47267,84} = 85,967 MPa$$

$$\sigma_{adm} > \sigma_{perfil} \quad 91,66 > 85,96 [MPa]$$

Con perfil de espesor 4mm, la tensión es menor y muy próxima a la admisible.

- Perfil (100x100x3mm): Tensión superior a la admisible, no cumple la condición de resistencia (ver anexo 3.3)

A través de los resultados se obtienen las conclusiones para la optimización de la estructura. Se puede afirmar que el perfil de 4mm es el más óptimo. La tensión generada en dicho perfil es la que más se aproxima a la tensión admisible del diseño, sin superarla. Por lo tanto se cumplen las condiciones de diseño.



*Imagen 82: Desplazamientos focalizados en el mástil*

Una vez realizada la optimización del mástil, con el desplazamiento obtenido, se comprueba si se cumplen la condición de desplazamiento admisible, tomando como longitud de referencia la longitud total del mástil telescópico.

$$\text{Límite desplazamiento} \leq \frac{\text{Longitud del elemento}}{500}$$

$$5,13mm \leq \frac{4240mm}{500}$$

$$5,13mm \leq 8,48mm$$

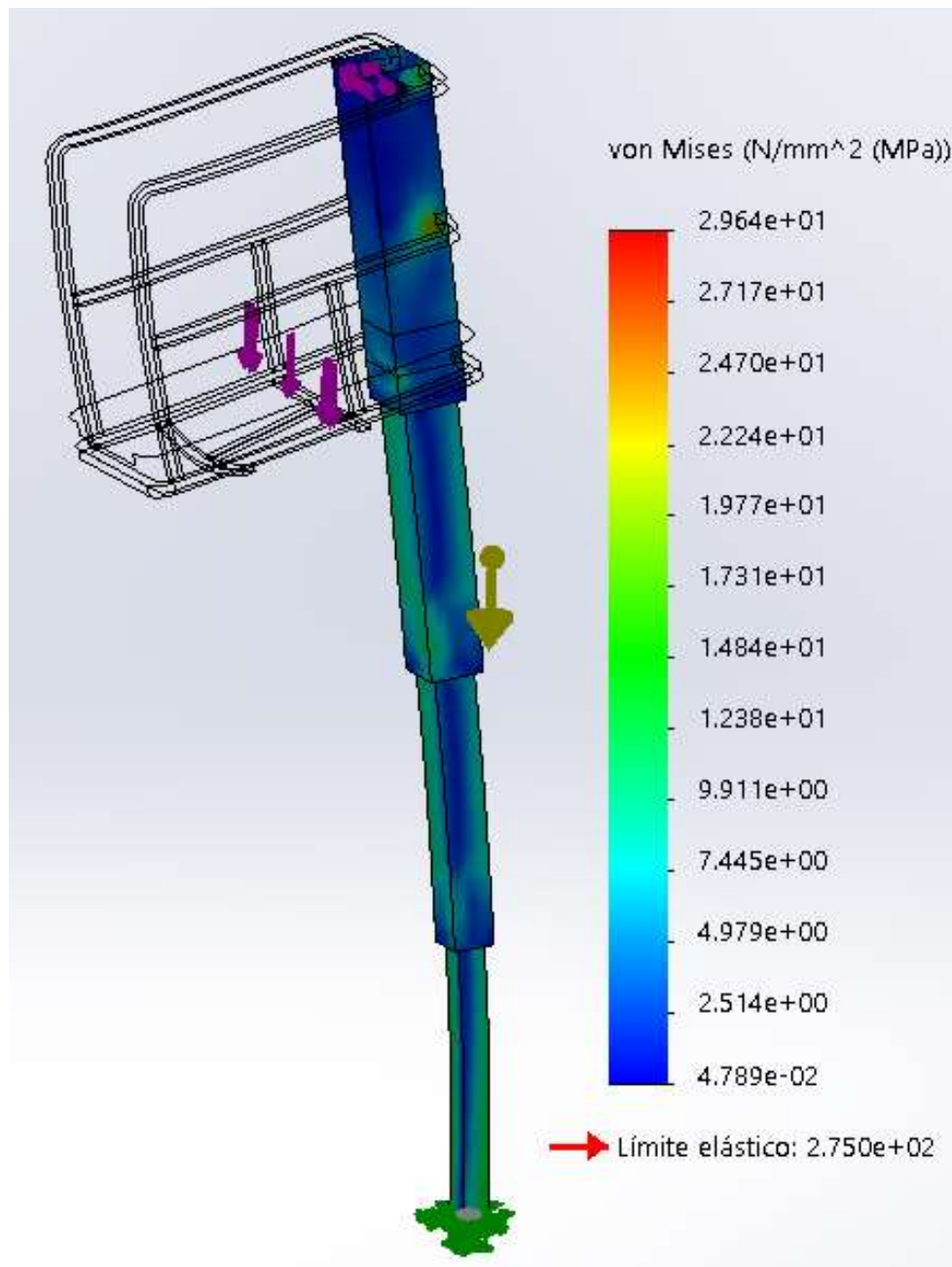
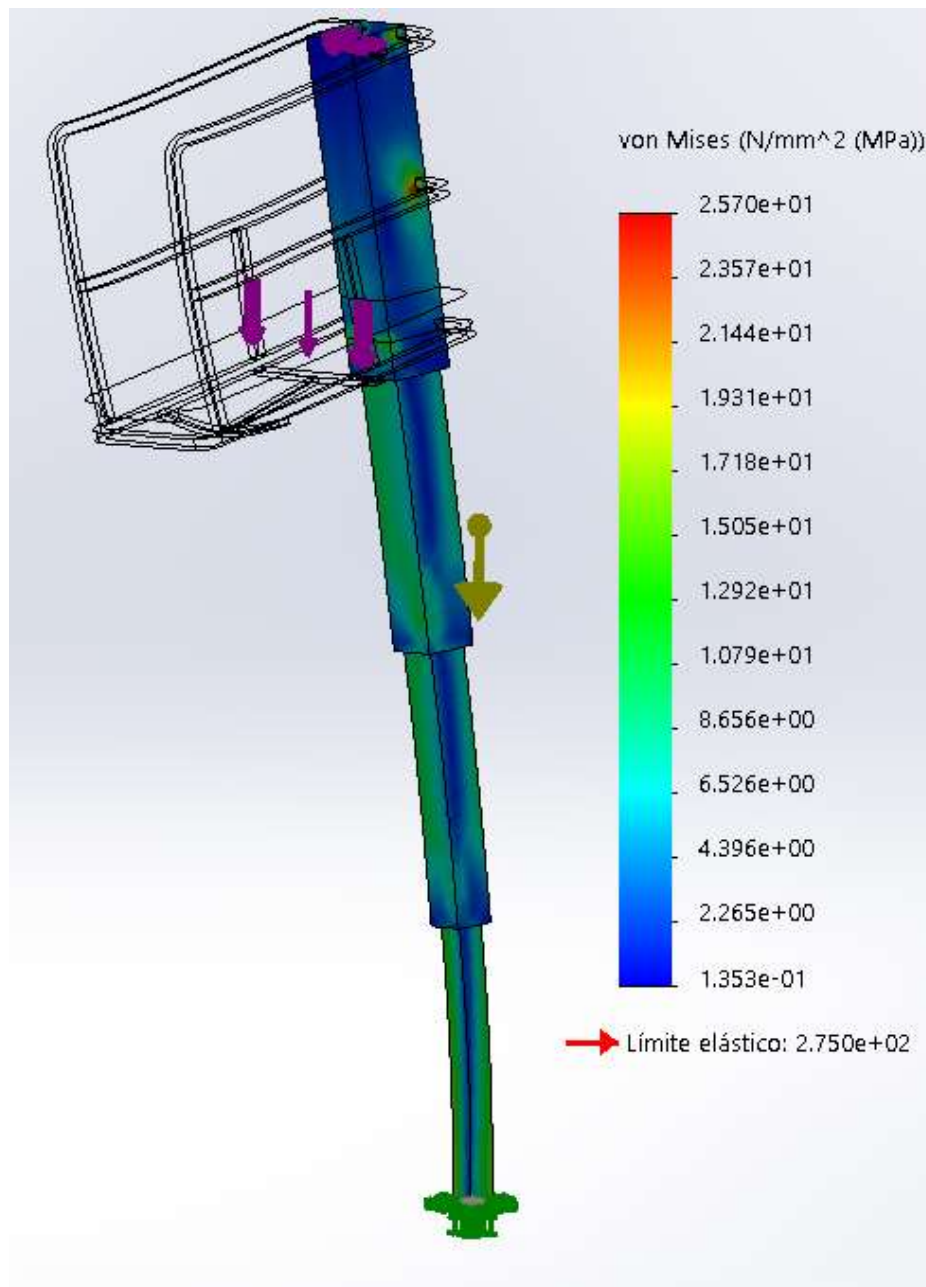


Imagen 83: Tensión superior focalizada en el mástil



*Imagen 84: Tensión inferior focalizada en el mástil*

Cumple holgadamente el análisis estático, en tensiones y deformaciones.

La diferencia de tensiones entre el cálculo analítico y numérico se debe a que en el modelo numérico está perfectamente definido el centro de gravedad de la estructura, mientras que en el cálculo analítico se ha realizado una aproximación.

La posible aparición de efectos locales de pandeo que exigirían un cálculo más detallado nos lleva a no reducir más el espesor, dado que se trata de un elemento de gran esbeltez.

## 2.4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL CILINDRO HIDRÁULICO

Según datos técnicos de la PEMP, se obtiene la carga de la estructura y la longitud de elevación total, desde el punto inferior del mástil al punto superior del mástil donde se genera la unión entre el vástago del cilindro hidráulico con el bulón.

Para obtener el diámetro del vástago, Se hace uso de la fuerza que tiene que realizar el cilindro para elevar la carga y de la longitud de pandeo. Mediante la utilización de la gráfica (Imagen 86) se prolongan líneas sobre el valor de la fuerza del cilindro y la longitud de pandeo, hasta que se corten. El punto de corte nos indicara la selección del diámetro cogiendo siempre la curva que permanezca por encima del punto de corte.

La fuerza es el resultado de la suma de las cargas a elevar, capacidad de carga de la plataforma, peso de la plataforma y peso del mástil.

$$m_T = 230Kg + 170Kg + 170Kg = 570kg$$

$$F = m_T \times g = 570KG \times 10 \frac{m}{s^2} = 5700N \approx 6KN$$

La longitud de pandeo se calcula la carrera del cilindro y un factor de pandeo determinado para cada tipo fijación de cilindro.

$$L_p = C \times \beta$$

$$L_p = 4240mm \times 1,5 = 6360mm$$

$m_T$  = Masa total de la plataforma

$F$  = Fuerza cilindro

$g$  = Gravedad

$L_p$  = Longitud de pandeo

$C$  = Carrera del cilindro = 4240mm

$\beta$  = Factor de pandeo Factor de pandeo = 1,5

El factor de pandeo se clasifica según el tipo de fijación del cilindro (Imagen 85). En este proyecto, se ha seleccionado un cilindro de unión con vástago articulada y guiado, y cilindro fijado rígidamente en parte posterior.  $\beta = 1,5$  (9)

Tipo de fijación cilindro	Esquema de montaje	Factor de pandeo ( $\beta$ )
Unión con vástago articulada y guiado  Cilindro fijado mediante articulación en parte intermedia ó rigidamente en parte posterior		1.5
Unión con vástago rígida, pero no guiado (simplemente apoyado en superficie)  Cilindro fijado rigidamente		2.0
Unión con vástago articulada y guiado  Cilindro fijado mediante articulación en parte posterior		2.0
Unión con vástago articulada pero no guiado (simplemente apoyado en superficie)  Cilindro fijado mediante articulación en parte intermedia		3.0

Imagen 85: Determinación del factor de pandeo ( $\beta$ ) según el tipo de fijación del cilindro

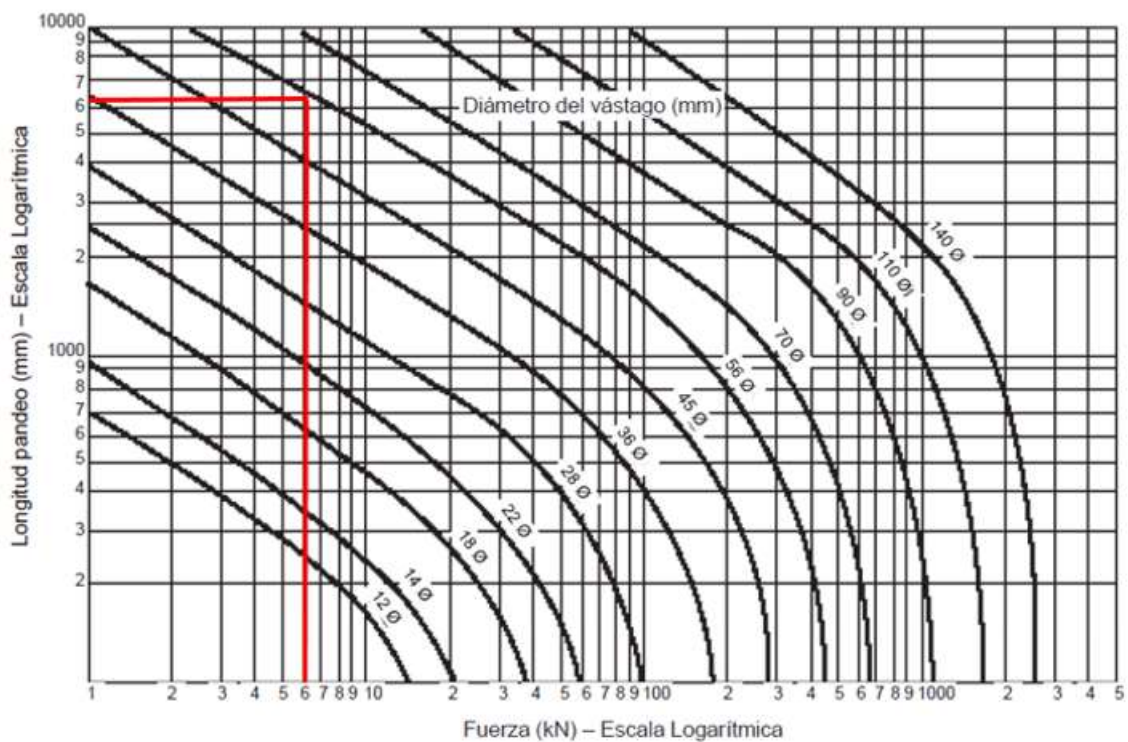


Imagen 86: Determinación diámetro del vástago (mm)



Plasmando los resultados en la tabla de dimensionado del vástago, se obtiene un diámetro del vástago de 56mm de diámetro.

Para el dimensionado del pistón, se elige inicialmente un diámetro de pistón de 80mm en consonancia con el diámetro del vástago determinado, y se calcula la presión comprobando si el resultado obtenido es aceptable.

$$Fa = \frac{P \frac{\pi \times D^2}{4}}{10}$$

$$6000N = \frac{P \frac{\pi \times 80^2 mm}{4}}{10}$$

$$P = 11,94 \frac{N}{mm^2} \approx 120bares$$

Según especificaciones técnicas de cilindros hidráulicos de elevación de la marca DALLASH (Hydraulic cylinder experts), el resultado obtenido entra dentro del rango de presión utilizado en este tipo de accionamientos. (10)

Se utilizara un cilindro hidráulico de simple efecto, el cual realizara el trabajo de elevación de la plataforma y la acción de descender a la posición de reposo se efectúa con el propio peso de la plataforma.

## 2.5. DIMENSIONAMIENTO GUÍA DE NYLON

Es necesario para el dimensionamiento de las guías de nylon calcular el momento flector producido en el mástil, creado por la masa de la plataforma y la carga máxima de trabajo.

La fuerza total aplicada para el cálculo del momento se obtiene de la suma del peso de la plataforma y la carga máxima de trabajo.

$$F = m_p + m_c \times g \quad F = (200kg + 230kg) \times 10 \frac{m}{s^2} = 4300N$$

*F: Masa total soportada*

*m<sub>p</sub>: Masa de la plataforma*

*m<sub>c</sub>: Masa de capacidad de la plataforma*

*g: Gravedad*

La masa de capacidad en la plataforma, es una carga distribuida en el punto más desfavorable. Se distribuye por la mitad de la plataforma ya que se tiene en cuenta el espacio que ocupa un operario con su equipo de trabajo.

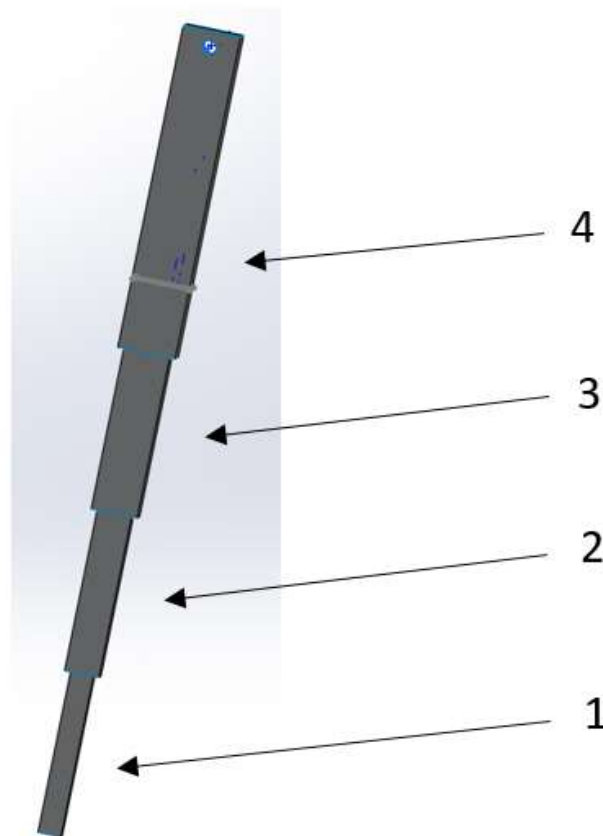
Para calcular el momento se concentra puntualmente la carga en un tercio de la plataforma, hacia el lado de acceso.

Longitud de la plataforma 1260mm, por lo tanto la distancia de aplicación de la carga se puntualiza a 945mm.

$$M = F \times d$$

$$M = \times 0,945m = 4063,5Nm$$

Se enumeran los perfiles (Imagen 87) para diferenciar las dimensiones de las guías en cada uno de ellos, según las dimensiones del perfil utilizado.



*Imagen 87: Numeración de los perfiles del mástil*

Se realizan pruebas con diferentes áreas hasta obtener un momento producido en las guías que supere el momento flector que soporta el mástil 4063,5Nm.

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{\sigma_f}{C_S} \times L \times a$$

$F$  = Fuerza resultante

$\sigma_f$ : Tensión de fluencia= 27,8MPa

$C_S$ : Coeficiente de seguridad = 3

$L$ : Longitud

$a$ : anchura

Una vez realizada la optimización del mástil podemos concretar que espesor tendrán las piezas de nylon que ejercen de guía en la columna de la plataforma. Existe una diferencia de 42mm entre las dimensiones interiores de un perfil y las dimensiones exteriores del perfil que se aloja en su interior. Por lo que el espesor del nylon no podrá ser superior a 21mm, por cada lado del perfil.



Imagen 88: Esquema de carga triangular producida en las guías de nylon

#### Dimensiones guía de nylon perfil nº 1.

Como el tramo 1 del mástil es un perfil cuadrado de lado 100mm, la anchura de la guía no puede superar la cota del lado. Evitando que llegue a sus extremos y coincida con la zona redondeada de los vértices del perfil, fijamos la anchura máxima de la guía de nylon en 80mm.

Se realizan pruebas con diferente longitud, siguiendo una variación de múltiplos de 5.

Se toma 27,8MPa como valor de tensión de fluencia para el material, nylon.

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8MPa}{3} \times 200mm \times 80mm = 74133,33N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 74133,33 \times \frac{0,2}{3} = 4942,22Nm$$

El momento producido con esta área supera al momento flector generado en el mástil, sería válido, pero vamos a tratar de optimizar al máximo el material.

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8}{3} \times 150 \times 80 = 55600N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 55600 \times \frac{0,15}{3} = 2780Nm$$

Al reducir el área de la pieza de nylon, disminuye el momento flector. Se debe aumentar la sección para superar el momento que soporta el mástil.

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8}{3} \times 170 \times 80 = 63013,33N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 63013,33 \times \frac{0,17}{3} = 3570,75Nm$$

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8}{3} \times 180 \times 80 = 66720N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 66720 \times \frac{0,18}{3} = 4003,2Nm$$

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8}{3} \times 185 \times 80 = 68573,33N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 6857,33 \times \frac{0,185}{3} = 4228,68Nm$$

$$M_{nylon} > M_{mástil} \quad 4228,68 > 4063,5[Nm]$$

185mm de longitud y 80mm de anchura son las dimensiones que debe tener la guía de nylon en el tramo 1 del mástil para soportar el momento flector producido en la columna de la plataforma.

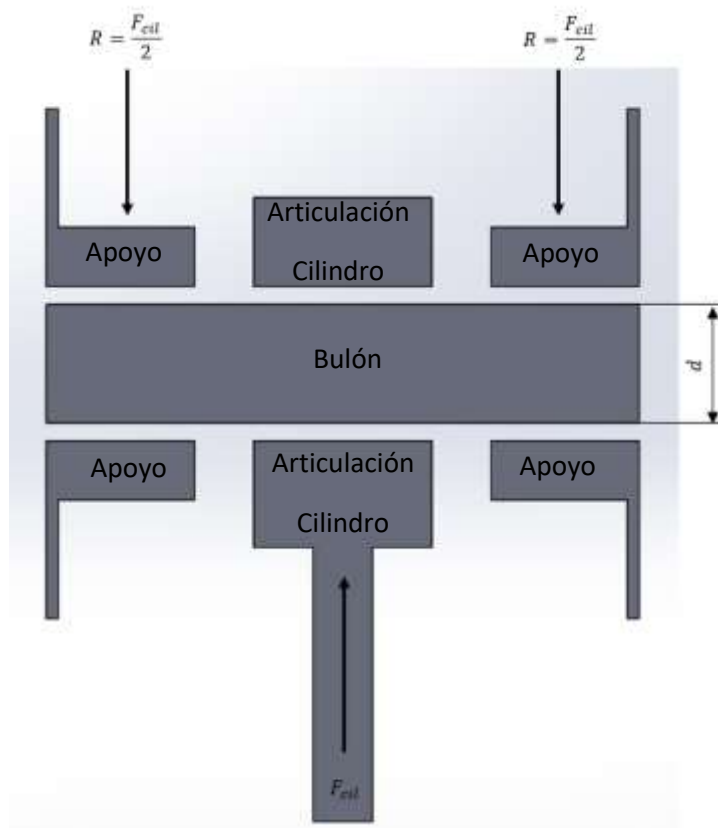
Calculando las dimensiones de la guía para el resto de perfiles (nº 2 y nº 3), se observa que la longitud de la pieza de nylon es muy reducida en comparación con los 300mm de solape (ver anexo 4.1 y 4.2). Debido a este motivo se podría producir cabeceo, si el área de la guía no tiene la suficiente longitud.

Con el objetivo de realizar el mismo montaje en cada una de las secciones y evitar que se produzca cabeceo entre perfiles, se hacen 4 piezas de nylon de 40mm de ancho, por 92,5 de largo y se disponen de tal forma que abarquen los 300mm de las caras de contacto.

## 2.6. CALCULO DE BULÓN PARA ARTICULACIÓN SUPERIOR DEL CILINDRO.

### 2.6.1. DIÁMETRO

Como podemos observar se ha seccionado la parte superior del mástil (*imagen 90*). Se sitúa el bulón, la articulación del cilindro hidráulico y los apoyos en el perfil del mástil.



*Imagen 89: Diagrama de fuerzas en partes de contacto con el bulón seccionadas.*

Para realizar los cálculos se escoge el mismo acero con el que se ha estado trabajando para el estudio de la PEMP. S275JR.

$$\tau_{bulón} = \frac{\frac{F_{cil}}{2}}{A_{pasador}} = \frac{\tau_F}{C_S} = \frac{\frac{\sigma_{Fpas}}{2}}{C_S}$$

$$\tau_{bulón} = \frac{\frac{5700N}{2}}{A_P} = \frac{\frac{280MPa}{2}}{3} = 46,6MPa$$

$$A_P = \frac{\frac{5700N}{2}}{46,6N/mm^2} = 61,1mm^2$$

$$A_P = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad d = 8,8 \approx 9mm$$

$\tau_{bulón}$ : Esfuerzo cortante

$\sigma_{fpas}$ : Tensión fluencia pasador

$F_{cil}$ : Fuerza del cilindro

$C_S$ : Coeficiente de seguridad

$A_P$ : Área pasador

Según los cálculos realizados, se requiere de un bulón de 9mm de diámetro para soportar el esfuerzo cortante producido por la fuerza que realiza el cilindro hidráulico.

Existen aceros específicos para este tipo de piezas, en el que sus propiedades mecánicas varían según el tratamiento al que ha sido sometido y el diámetro de éste.

El material que se debería utilizar, es un acero C33 normalizado. Su tensión de fluencia es similar a la del acero utilizado para la estructura de la plataforma y con el que se han realizado los cálculos (11).

Tabla 1. Calidad de acero para bulones										
Estado	Temple y Revenido						Normalizado			
	d ≤ 16 mm		16 mm < d ≤ 40 mm		40 mm < d ≤ 100 mm		d ≤ 16 mm		16 mm < d ≤ 100 mm	
Designación	<i>f<sub>yb</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>ub</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>yb</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>ub</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>yb</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>ub</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>yb</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>ub</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>yb</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>f<sub>ub</sub></i> (N/mm <sup>2</sup> )
C 22	340	500 a 650	290	470 a 620	--	--	240	430	210	410
C 25	370	550 a 700	320	500 a 650	--	--	260	470	230	440
C 30	400	600 a 750	350	550 a 700	300 (*)	500 a 550 (*)	280	510	250	480
C 35	430	630 a 780	380	600 a 750	320	550 a 700	300	550	270	520
C 40	460	650 a 800	400	630 a 780	350	600 a 750	320	580	290	550
C 45	490	700 a 850	430	650 a 800	370	630 a 780	340	620	305	580
C 50	520	750 a 900	460	700 a 850	400	650 a 800	355	650	320	610
C 55	550	800 a 950	490	750 a 900	420	700 a 850	370	680	330	640
C 60	580	852 a 1000	520	800 a 950	450	750 a 900	380	710	340	670

Imagen 90: Tabla de acero para bulones

## 2.6.2. ANCHURA DE CONTACTO

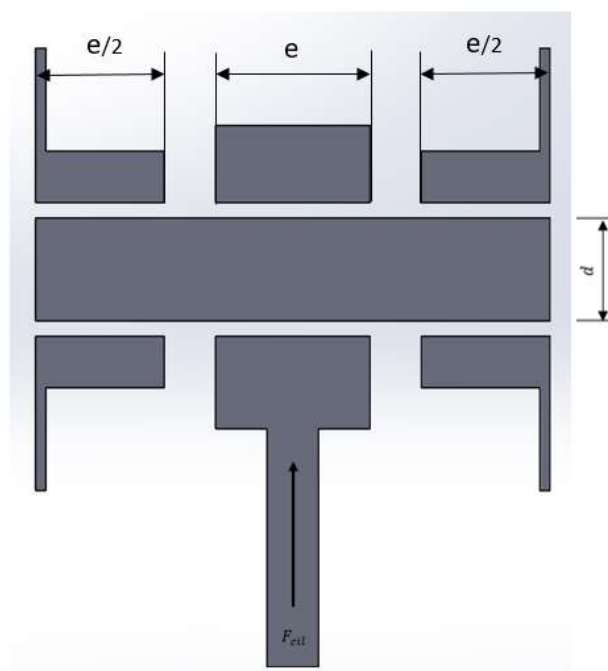


Imagen 91: Sección de las partes de contacto con el bulón

Se obtiene la anchura de contacto estableciendo para el bulón un diámetro de 10mm, ya que es una medida más común en este tipo de elementos.

$$\sigma_{aplast} = \frac{F_{cil}}{d \times e} = \frac{\sigma_F}{C_S}$$

$$91,66 = \frac{5700N}{10mm \times e} = \frac{275MPa}{3}$$

$$e = \frac{5700N}{10mm \times \frac{91,66N}{mm^2}} = 6,62mm$$

$\sigma_{aplast}$ : Tensión de aplastamiento

$F_{cil}$ : Fuerza realizada por el cilindro

$\sigma_F$ : Tensión de fluencia del material

$C_S$ : Coeficiente de seguridad

$d$ : Diámetro del bulón

$e$ : anchura de contacto



## CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha elaborado el diseño de una plataforma elevadora de columna, realizando los cálculos analíticos necesarios para dimensionar las partes que componen la PEMP. Con los programas informáticos MEFI y SolidWorks se han obtenido los resultados del análisis numérico, que a través de las condiciones de diseño nos indican si el diseño es válido.

En cuanto a la metodología utilizada en la realización del trabajo, destacaría:

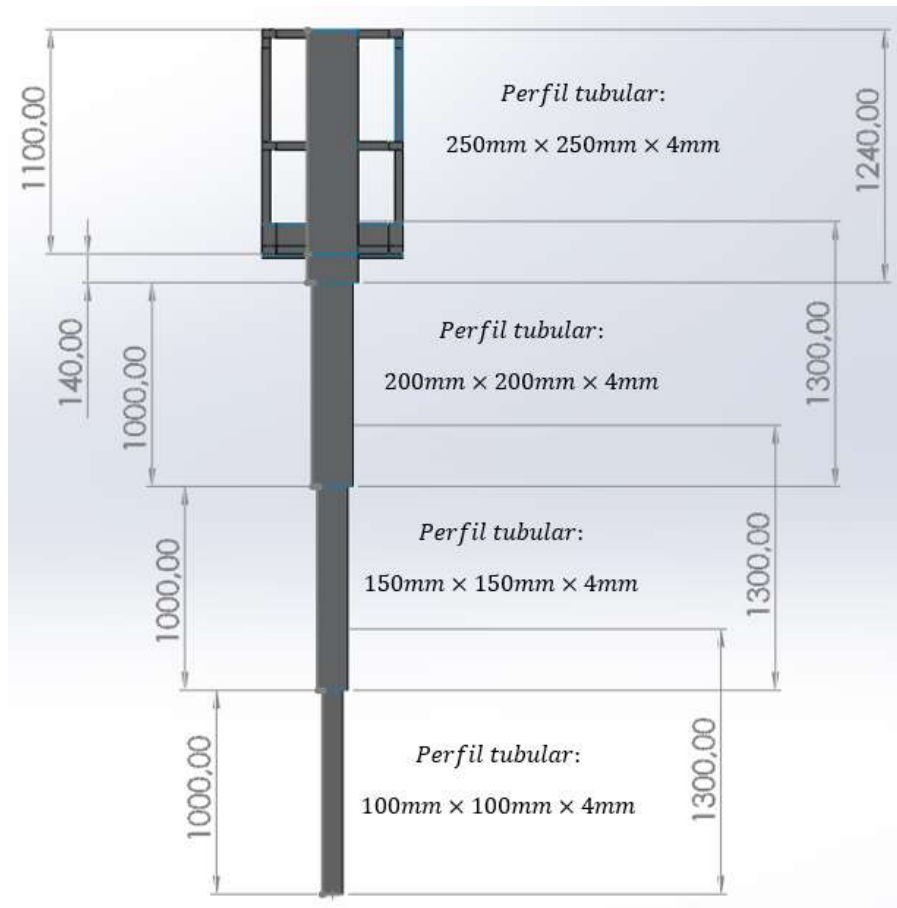
- La necesidad de documentarse correctamente sobre el producto para poder realizar los estudios necesarios acorde a los objetivos.
- La importancia de conocer la normativa de seguridad para realizar un proyecto industrial.
- El dominio de los programas informáticos utilizados.
- La capacidad analítica necesaria para comprender los resultados obtenidos y sacar conclusiones.

Las conclusiones más destacables obtenidas a lo largo de la realización del proyecto son:

- Se ha observado que debido a la gran variedad de tipos PEMP que existen en el mercado con diferentes características y especificaciones, se cubren la mayoría de necesidades de mercado.
- Con el estudio de configuración de malla se ha comprobado que los parámetros de malla son un factor importante en el análisis de diseño, para obtener calidad de malla, y por lo tanto, de los resultados.
- He podido observar que el uso del programa SolidWorks para el análisis del modelo permite definir perfectamente condiciones idénticas que experimentaría en la realidad. Es por esto que existe diferencia entre el cálculo analítico y el cálculo numérico, sobre todo en los resultados de tensiones.
- Un correcto análisis permite reducir costes, tiempo, peso, etc. Y adecuarse a los requerimientos de usuario.
- Se ha observado que perfiles de espesor reducido son capaces de soportar fuerzas considerables.

Se han obtenido resultados para el diseño de las diferentes partes de la plataforma:

- El mástil telescópico debe tener un espesor mínimo de 4mm para una sección tubular de 100x100mm.
- El espesor inicial de la barandilla se ha tenido que aumentar debido a que las tensiones producidas superaban la tensión admisible, y por lo tanto no se cumplían las condiciones de resistencia.
- El cilindro hidráulico que se requiere debe tener las siguientes características: un diámetro de vástago de 56mm, diámetro de pistón 80mm y ejercer una presión de 120 bares.
- El bulón debe tener un diámetro de 9mm para soportar los esfuerzo y la anchura de apoyo de aproximadamente 7mm.



Personalmente ha sido gratificante poder poner en práctica los conocimientos adquiridos en el grado de ingeniería mecánica. Gracias a la planificación y constancia, he conseguido alcanzar el objetivo de la propuesta del TFG.

En un inicio, la mayor dificultad que se me planteó para la ejecución del trabajo, ha acabado siendo el mayor beneficio obtenido. Hablamos de la utilización del programa SolidWorks. Gracias al trabajo autónomo y al soporte del tutor he adquiridos nuevos conocimientos sobre el uso del programa, lo cuales, en un futuro me puede ser de gran utilidad en el ámbito laboral.

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS EN EL TEXTO

- (1) <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/SEGURIDAD/Condiciones%20exigibles%20PEMP.pdf>
- (2) <https://www.jlg.com/es-es/equipos/elevadores-verticales/plataformas-de-m%C3%A1stil-vertical-conducibles/1230es?Cookie=language>
- (3) [https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp\\_634.pdf](https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_634.pdf)
- (4) <http://apta.com.es/pdf/aceros.pdf>
- (5) <http://prontuarios.info/materiales/acero>
- (6) <https://es.scribd.com/doc/105524711/2-DISENO-FACTOR-DE-SEGURIDAD>
- (7) Manual de usuario del programa MEFI. Apuntes de la asignatura de mecánica de Sólidos Deformables 2016-2017.
- (8) [http://help.solidworks.com/2016/Spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Background\\_on\\_Meshing.htm](http://help.solidworks.com/2016/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm)
- (9) Criterio de diseño de máquinas. Javier Abad, Paula Canalís, Antonio Serrano (2018-2019)
- (10) <http://spanish.telescopic-hydrauliccylinder.com/sale-10339741-single-piston-fork-lifting-dump-hoist-garbage-truck-hydraulic-cylinders.html>
- (11) <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn37.html>

### MATERIAL CONSULTADO

**Documento Básico SE-A. Seguridad estructural: Acero**

**UNE-EN 280:2014+A1:2016** *Plataformas elevadoras móviles de personal. Cálculos de diseño. Criterios de estabilidad. Construcción. Seguridad. Exámenes y ensayos.*

**UNE-EN 13001-3-1:2012+A1:2013** Grúas. Diseño general. Parte 3-1: Estados límites y prueba de aptitud de las estructuras de acero.

[http://help.solidworks.com/2016/Spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Background\\_on\\_Meshing.htm](http://help.solidworks.com/2016/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm)

<https://www.cicrosa.com/index.php/productos/cilindros-hidraulicos/>

<http://www.sanmetal.es/productos/termoplasticos/poliamida-66-pa-66/8>

<https://ultimaker.com/download/67541/TDS%20Nylon%20v3.011-spa-ES.pdf>

# **ANEXO**

## **Trabajo Fin de Grado**

Análisis y dimensionamiento de plataforma elevadora vertical de columna para 230 Kg de capacidad de carga y altura de plataforma 3,6 metros.

## ÍNDICE ANEXO

1. ESTUDIO 1	1
1.1. CONFIGURACIÓN MALLADO 1:	1
1.1.1. Análisis estático malla muy fina	1
1.1.2. Análisis estático malla fina	4
1.1.3. Análisis estático malla gruesa	7
1.1.4. Análisis estático malla muy gruesa	10
1.2. CONFIGURACIÓN MALLADO 2:	13
1.2.1. Análisis estático malla muy fina	13
1.2.2. Análisis estático malla fina	16
1.2.3. Análisis estático malla gruesa	19
1.2.4. Análisis estático malla muy gruesa	22
1.3. CONFIGURACIÓN MALLADO 3:	25
1.3.1. Análisis estático malla muy fina	25
1.3.2. Análisis estático malla fina	28
1.3.3. Análisis estático malla gruesa	31
1.3.4. Análisis estático malla muy gruesa	34
2. ESTUDIO 2	37
2.1. CONFIGURACIÓN MALLADO 2 (tamaño mínimo del elemento 10mm):	37
2.1.1. Análisis estático malla muy fina.	37
2.1.2. Análisis estático malla fina	39
2.1.3. Análisis estático malla gruesa.	41
2.1.4. Análisis estático malla muy gruesa.	43
2.2. CONFIGURACIÓN MALLADO 3 (tamaño mínimo del elemento 15mm):	45
2.2.1. Análisis estático malla muy fina.	45
2.2.2. Análisis estático malla fina.	47
2.2.3. Análisis estático malla gruesa.	49
2.2.4. Análisis estático malla muy gruesa.	51
2.3. CONFIGURACIÓN MALLADO 4 (tamaño mínimo del elemento 20mm):	53
2.3.1. Análisis estático malla muy fina.	53
2.3.2. Análisis estático malla fina.	55
2.3.3. Análisis estático malla gruesa.	57
2.3.4. Análisis estático malla muy gruesa.	59

2.4.	CONFIGURACIÓN MALLADO 5 (tamaño mínimo del elemento 25mm):	61
2.4.1.	Análisis estático malla muy fina.	61
2.4.2.	Análisis estático malla fina.	63
2.4.3.	Análisis estático malla gruesa.	65
2.4.4.	Análisis estático malla muy gruesa.	67
2.5.	CONFIGURACIÓN MALLADO 6 (tamaño mínimo del elemento 30mm):	69
2.5.1.	Análisis estático malla muy fina.	69
2.5.2.	Análisis estático malla fina.	71
2.5.3.	Análisis estático malla gruesa.	73
2.5.4.	Análisis estático malla muy gruesa.	75
3.	OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURA DEL MÁSTIL	77
3.1.	Perfil (100x100x10mm)	77
3.2.	Perfil (100x100x6mm)	77
3.3.	Perfil (100x100x3mm)	78
4.	DIMENSIONAMIENTO GUÍA DE NYLON	79
4.1.	Dimensiones guía de nylon perfil nº 2.	79
4.2.	Dimensiones guía de nylon perfil nº 3.	80

# ANEXO

## 1. ESTUDIO 1

### 1.1. CONFIGURACIÓN MALLADO 1:

#### 1.1.1. Análisis estático malla muy fina

Seleccionando 40mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 13,33) y 32 el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla muy fina (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	40 mm
Tamaño mín. de elemento	13.3332 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	22710
Número total de elementos	11444
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:09
Nombre de computadora	M-POR1341

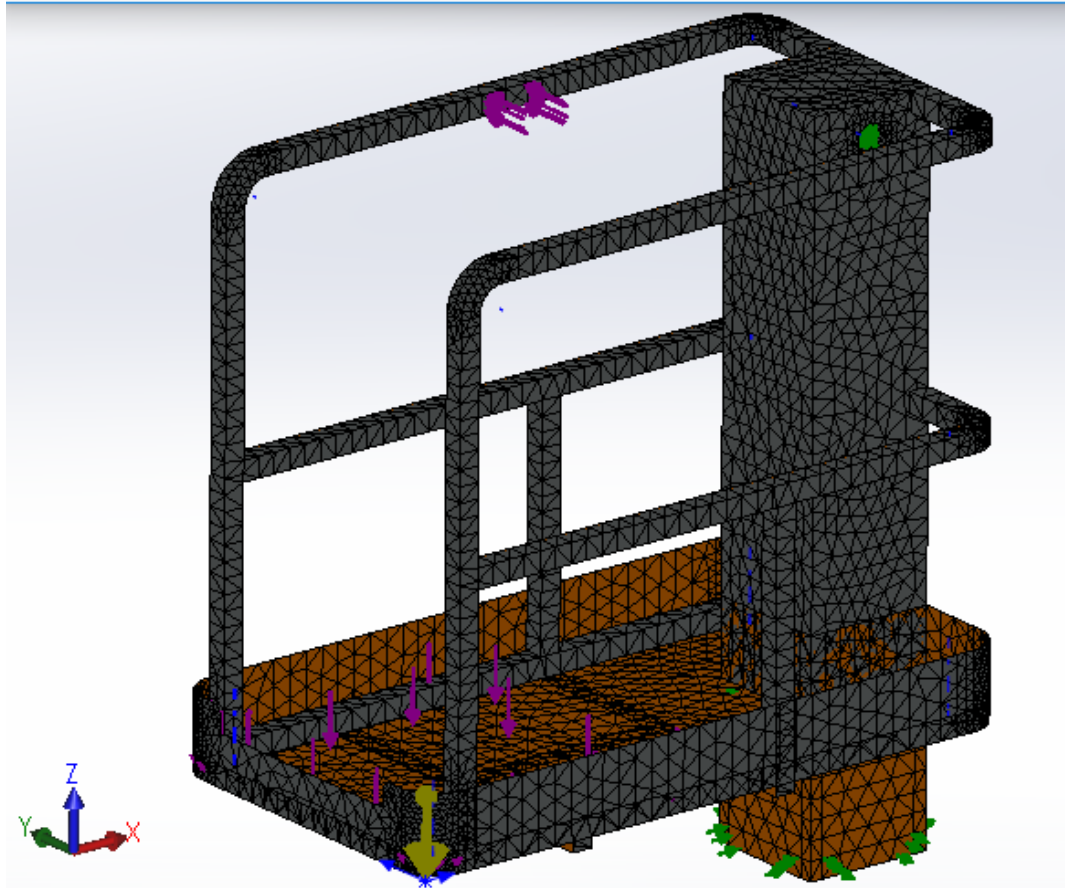




Imagen 1: Características y mallado (malla muy fina)

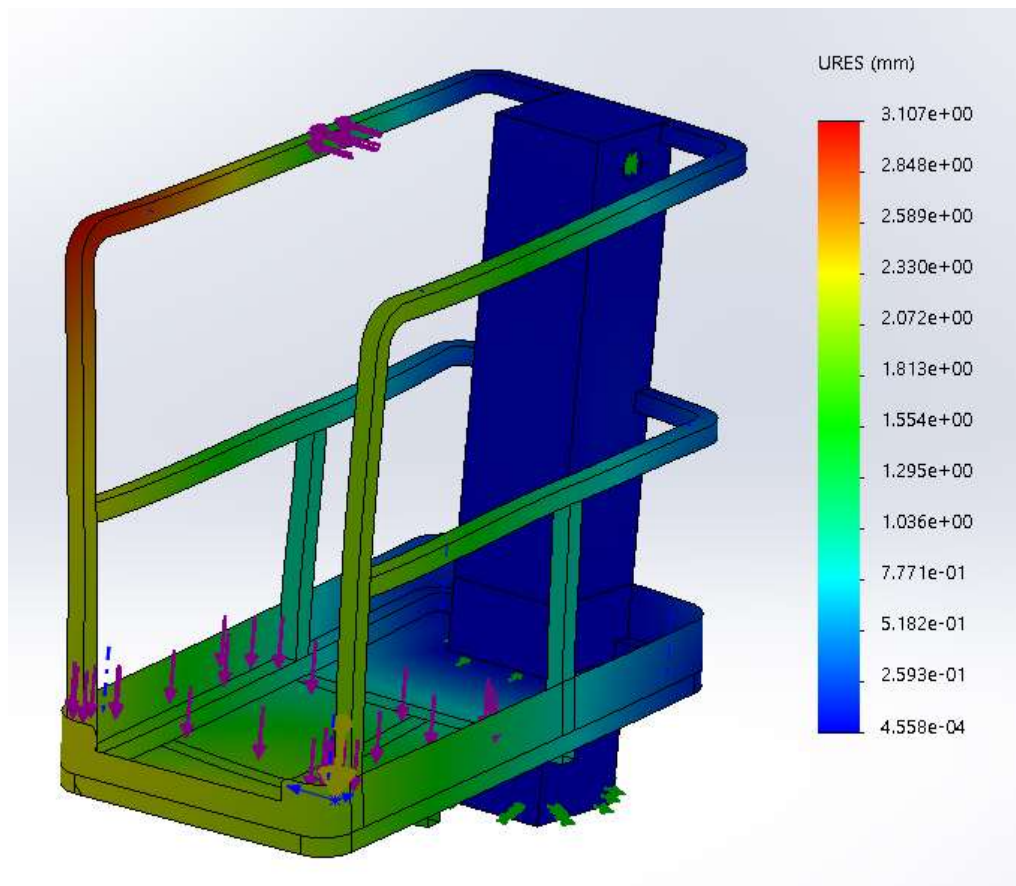


Imagen 2: Desplazamiento (malla muy fina)

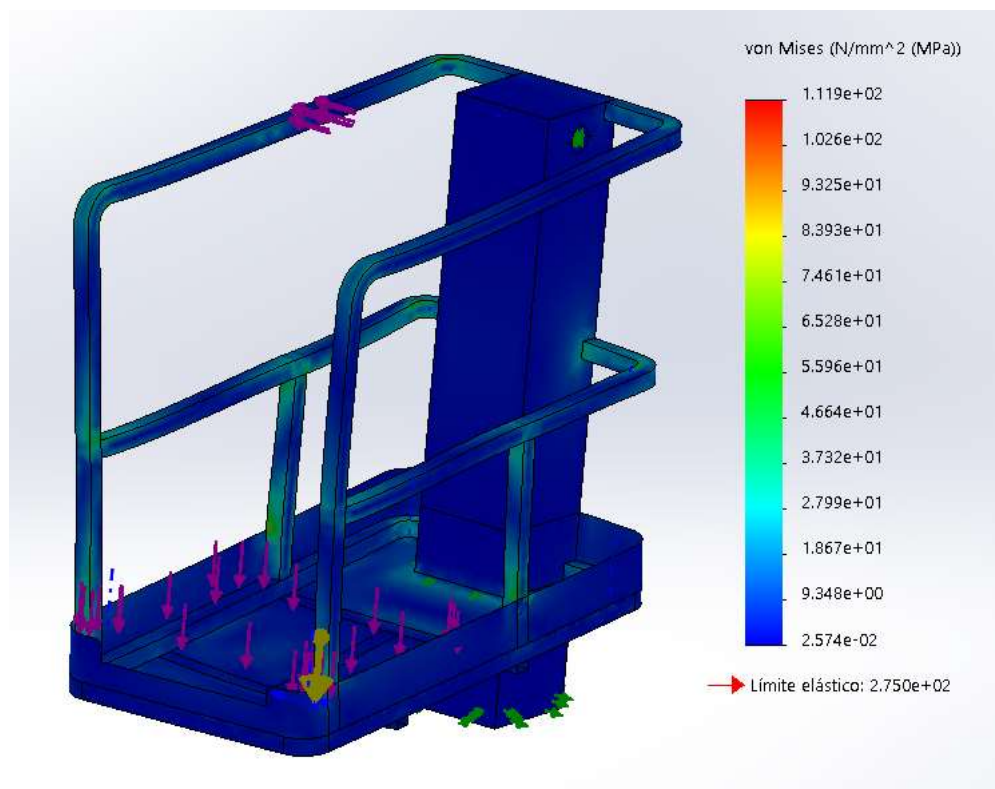


Imagen 3: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)

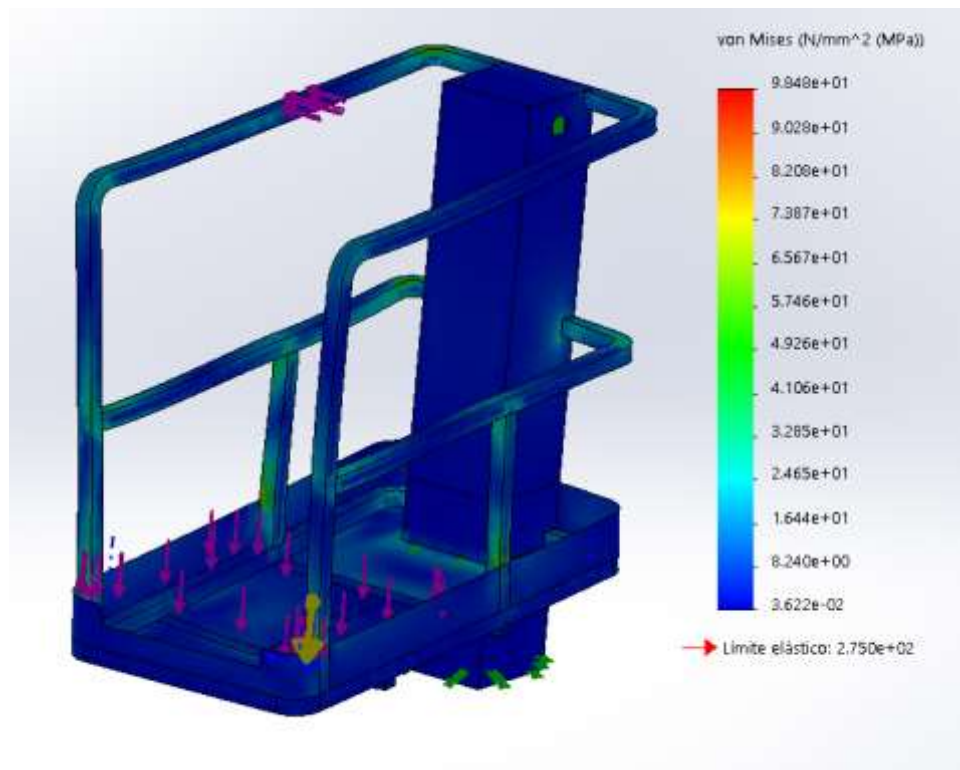


Imagen 4: Tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)

### 1.1.2. Análisis estático malla fina

Seleccionando 60mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 19,99) y conservando 32 para el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla fina (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	60 mm
Tamaño mín. de elemento	19.9998 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	12022
Número total de elementos	6078
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	M-POR1341

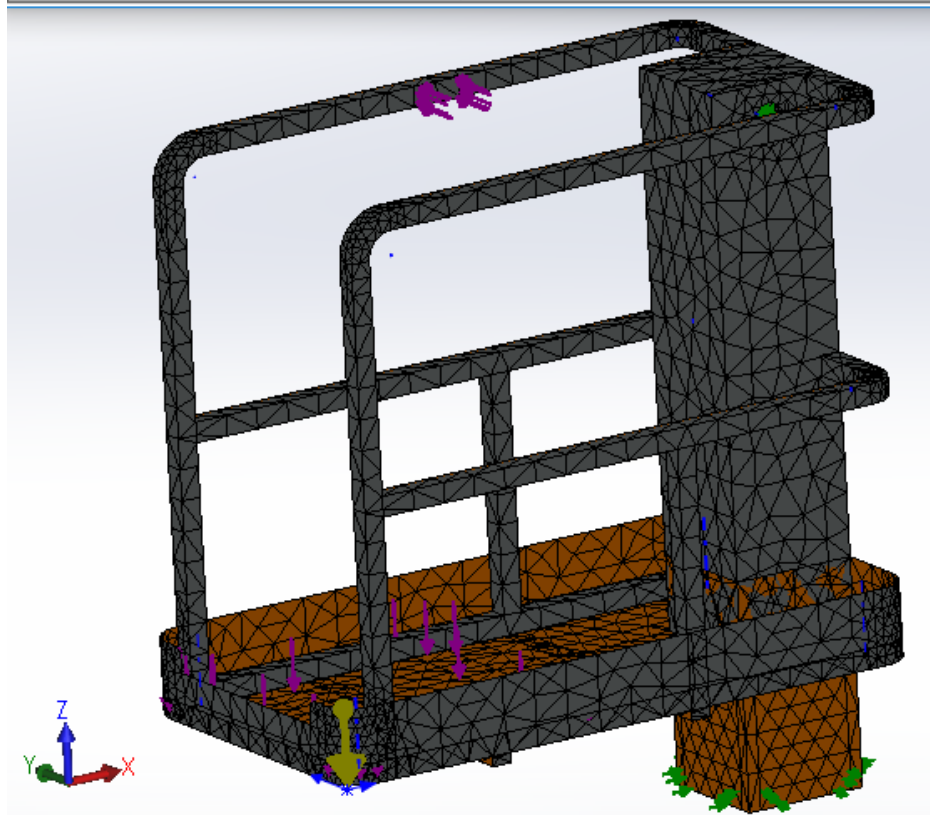


Imagen 5: Características y mallado (malla fina)

En los detalles de malla podemos observar que el número de nodos ha disminuido con respecto al mallado anterior, al igual que el número total de elementos localizados en la estructura. Como podemos apreciar en la imagen anterior el tamaño del elemento de malla ha aumentado, por lo tanto serán menos los elementos que caben en la estructura así como los puntos de unión entre los elementos (nodos).

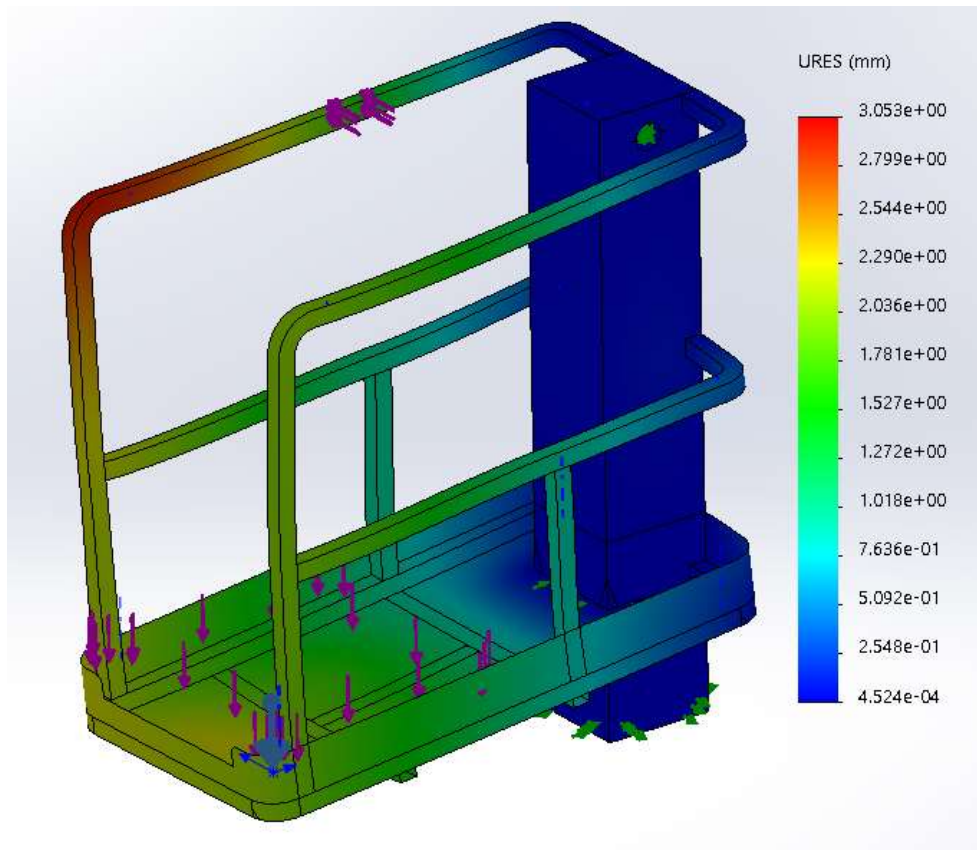


Imagen 6: Desplazamientos (malla fina)

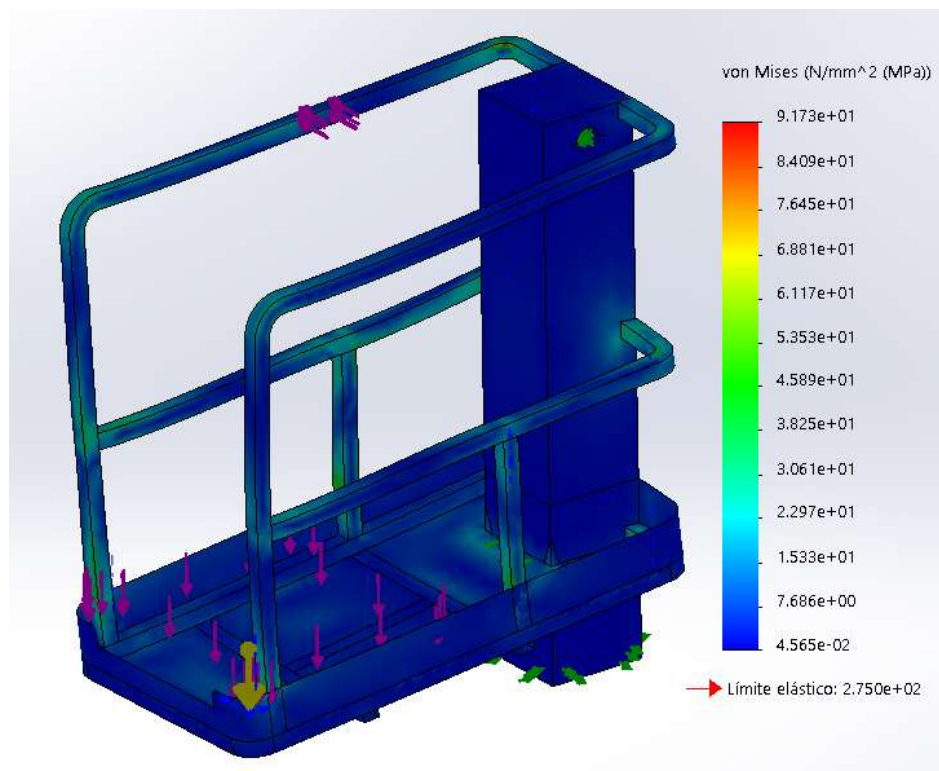
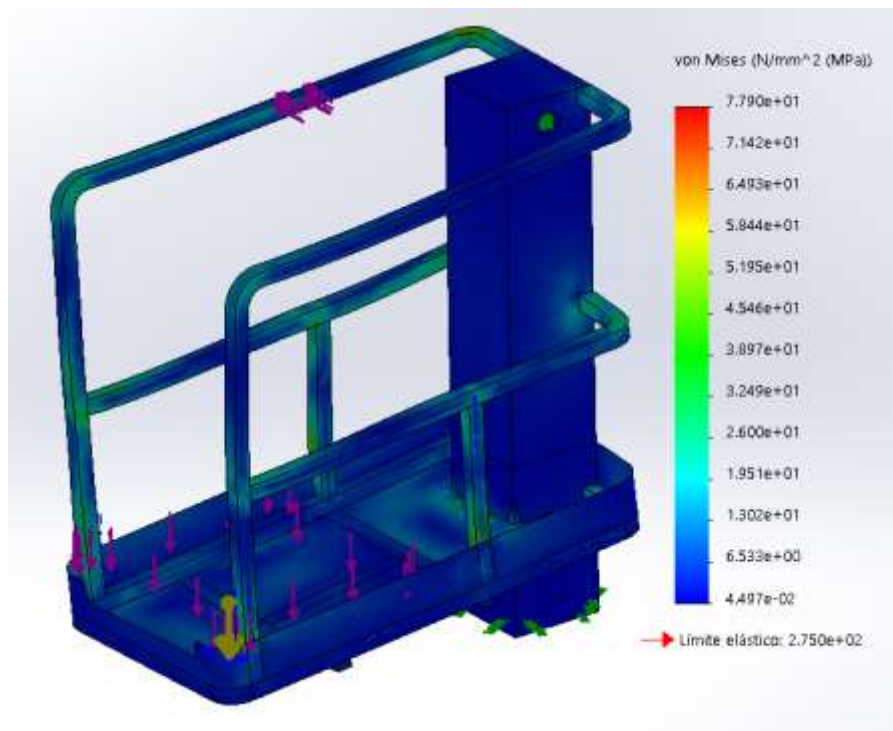


Imagen 7: tensión cara superior del elemento (malla fina)



*Imagen 8: Tensión cara inferior del elemento (malla fina)*



### 1.1.3. Análisis estático malla gruesa

Seleccionando 120mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 39,99) y conservando 32 para el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla Estandar (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	120 mm
Tamaño mín. de elemento	39.9996 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	4822
Número total de elementos	2446
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:03
Nombre de computadora	M-POR1341

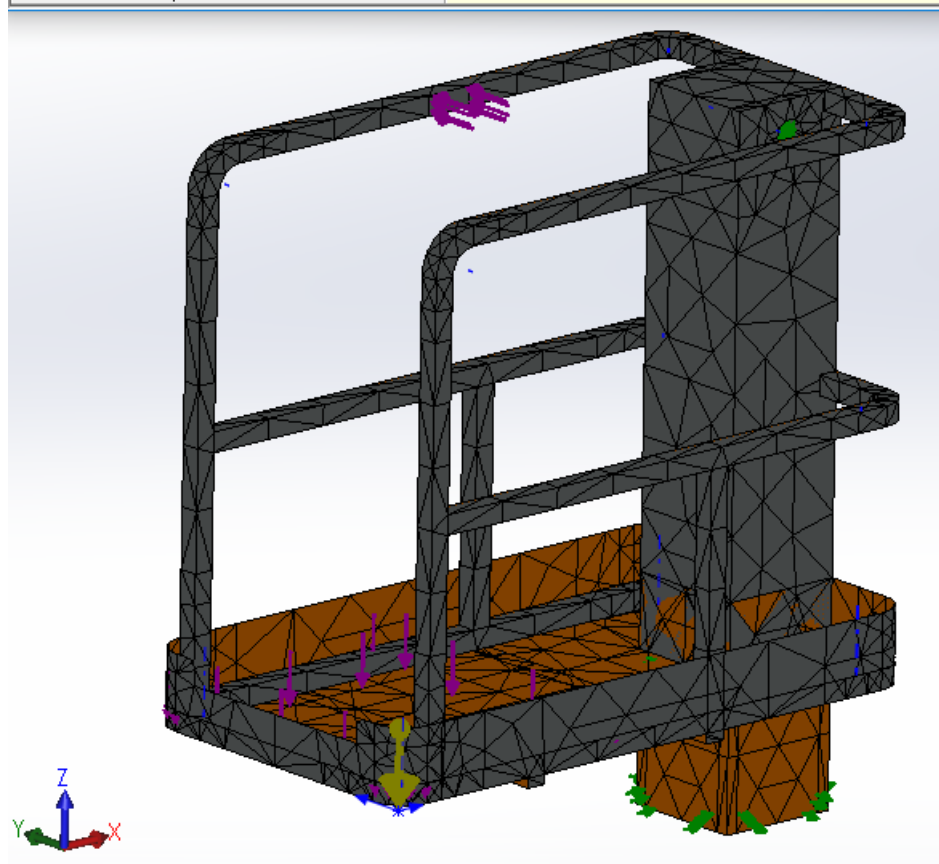


Imagen 9: Características y mallado (malla gruesa)

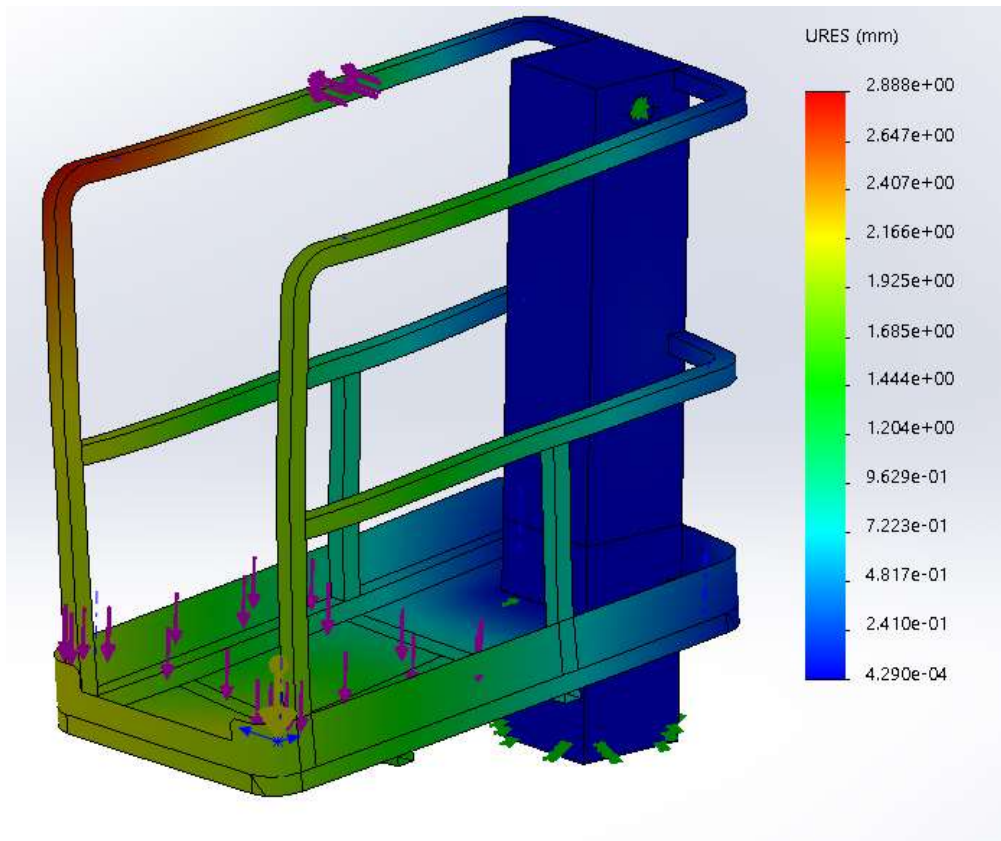


Imagen 10: Desplazamiento (malla gruesa)

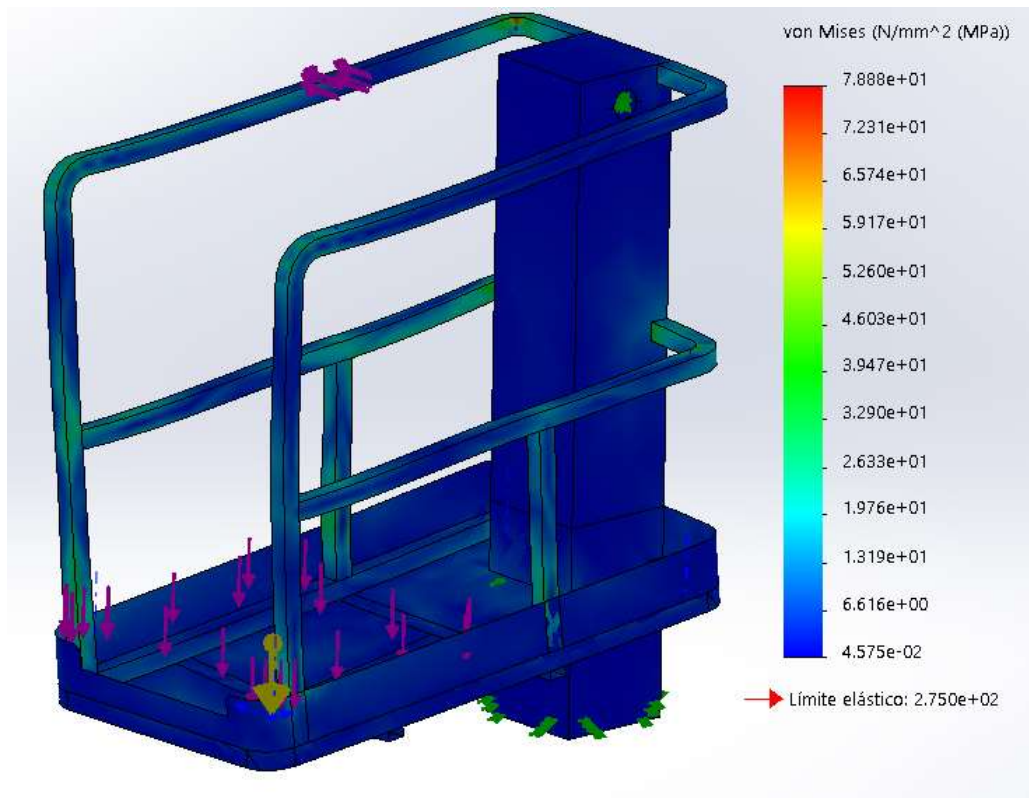
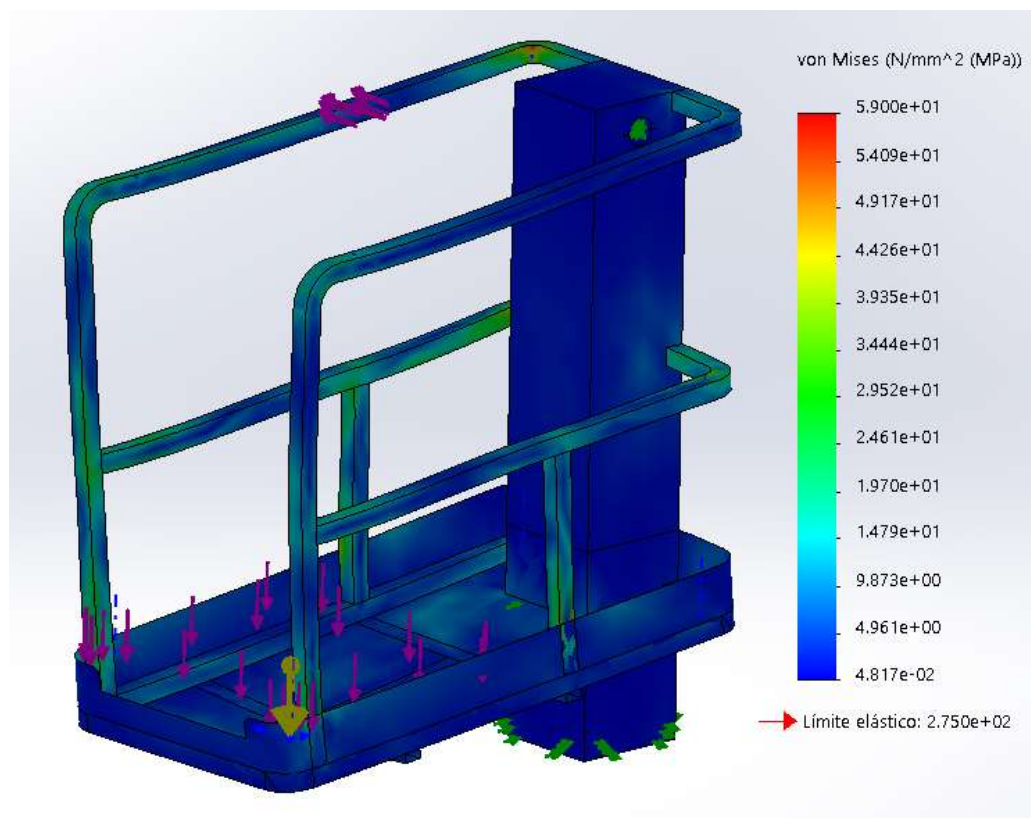


Imagen 11: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)



*Imagen 12: tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)*



#### 1.1.4. Análisis estático malla muy gruesa

Seleccionando 140mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento es el establecido por el software (en este caso 46,66) y conservando 32 para el número mínimo de elementos en un círculo. Es la configuración de malla generada que presenta un tamaño más grande de los elementos, por consiguiente el número total de elementos se verá reducido. Con estos parámetros de mallado, se puede observar en la imagen elementos muy grandes y por lo tanto el número de nodos es menor con respecto a los demás estudios realizados.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla muy gruesa (-Predeterminado)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	140 mm
Tamaño mín. de elemento	46.6662 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	4066
Número total de elementos	2062
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:03
Nombre de computadora	M-POR1341

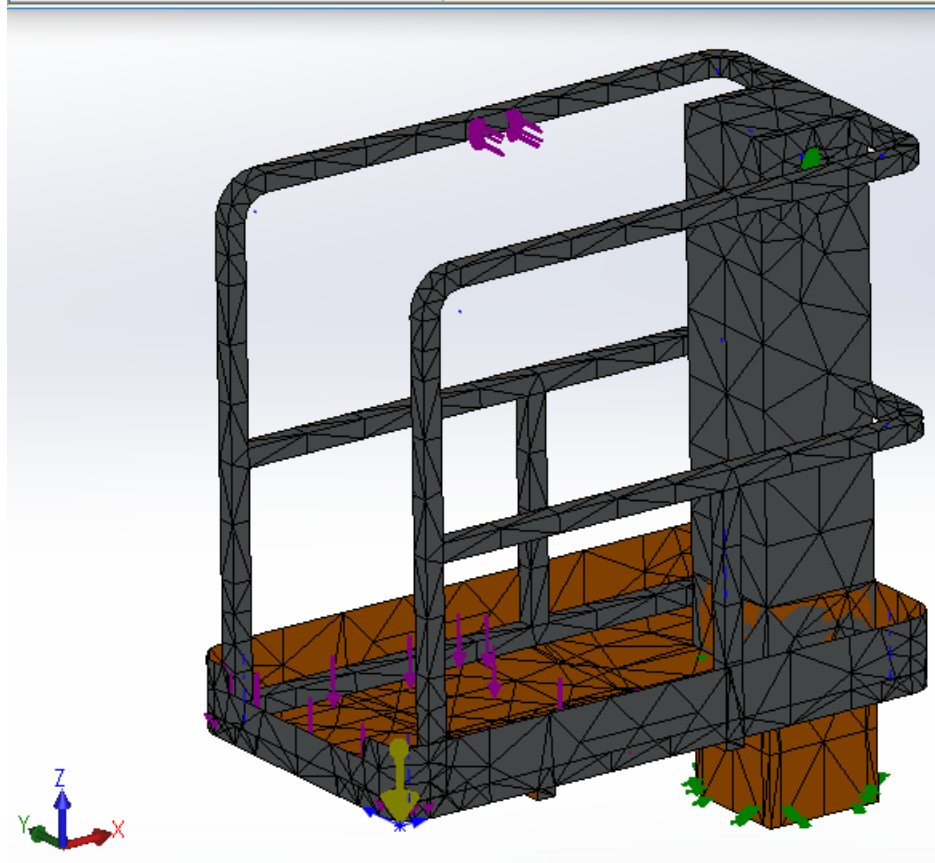


Imagen 13: Características y mallado (malla muy gruesa)

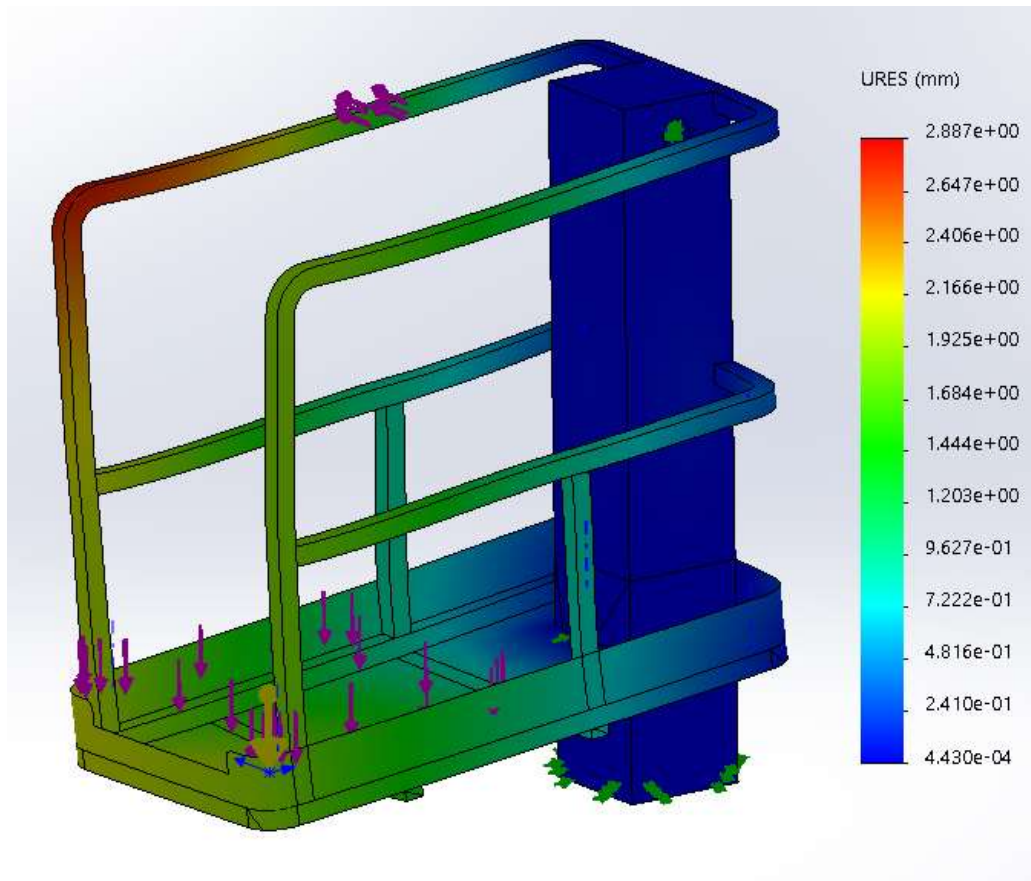


Imagen 14: Desplazamiento (malla muy gruesa)

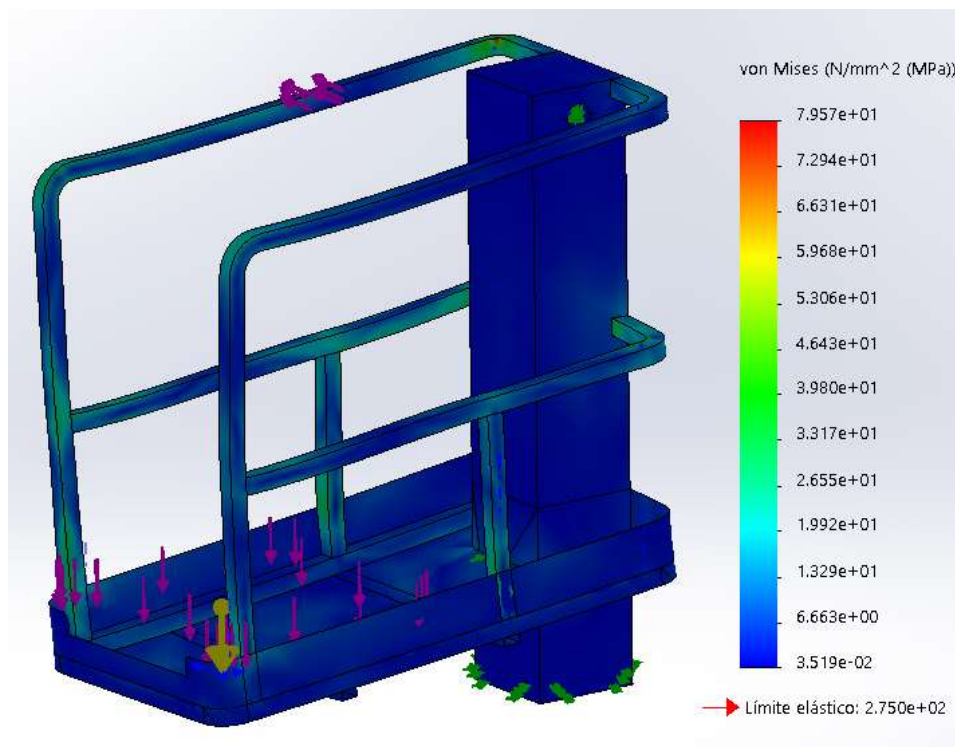


Imagen 15: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)

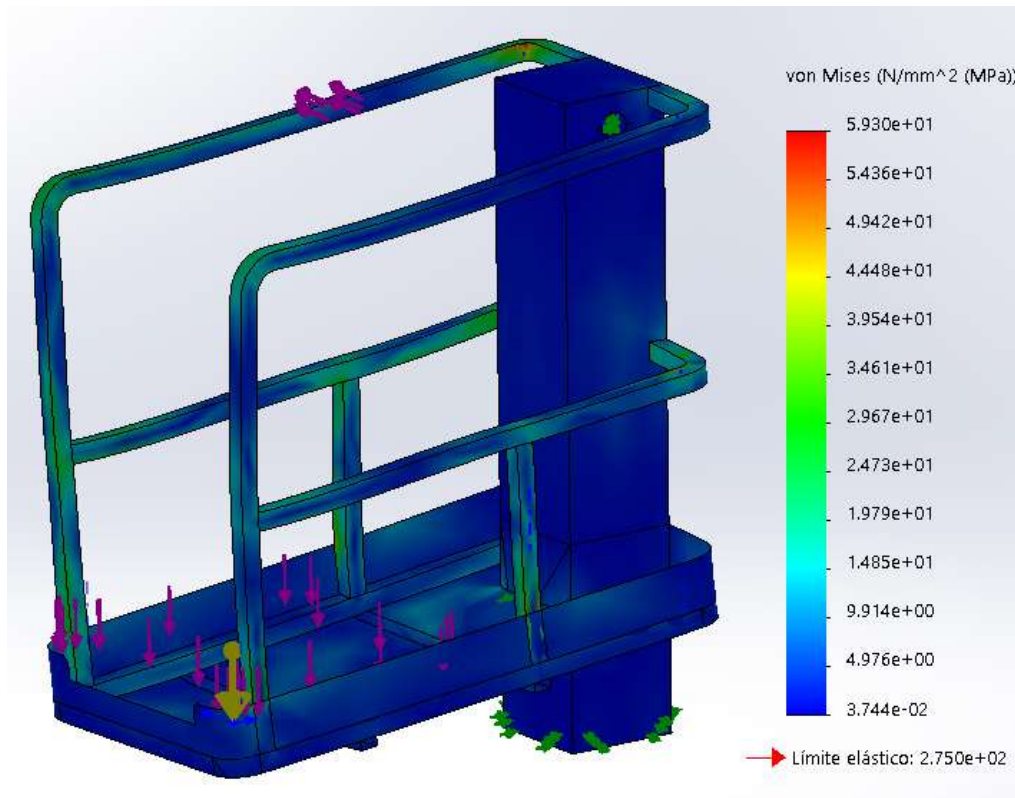


Imagen 16: Tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)

## 1.2. CONFIGURACIÓN MALLADO 2:

### 1.2.1. Análisis estático malla muy fina

Seleccionando 40mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 13,33) y 8 el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla muy fina (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	40 mm
Tamaño mín. de elemento	13.3332 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	16092
Número total de elementos	8110
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	M-POR1341

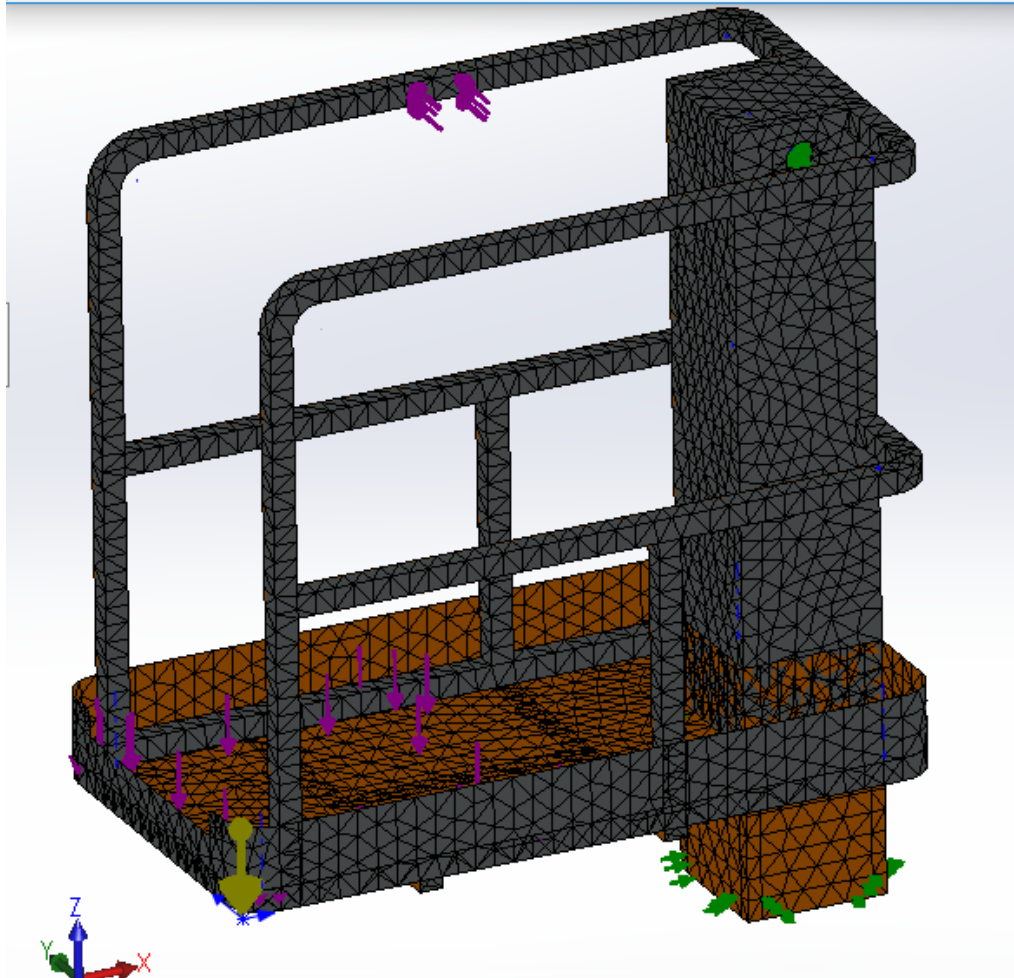


Imagen 17: Características y mallado (malla muy fina)

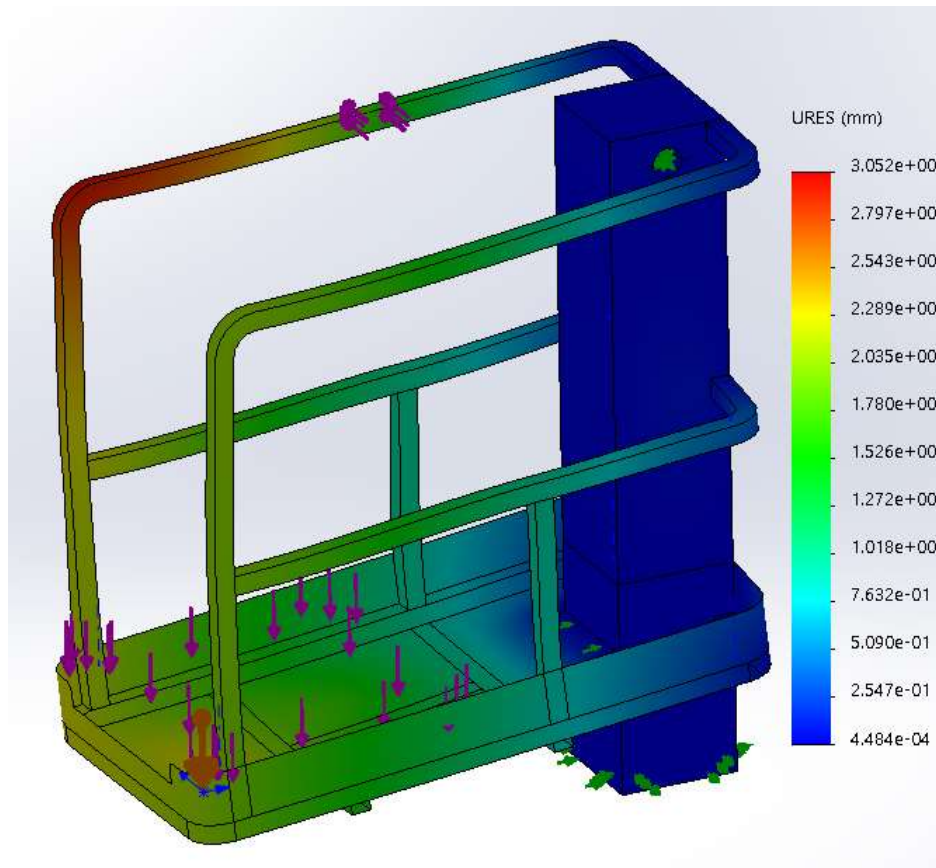


Imagen 18: Desplazamiento (malla muy fina)

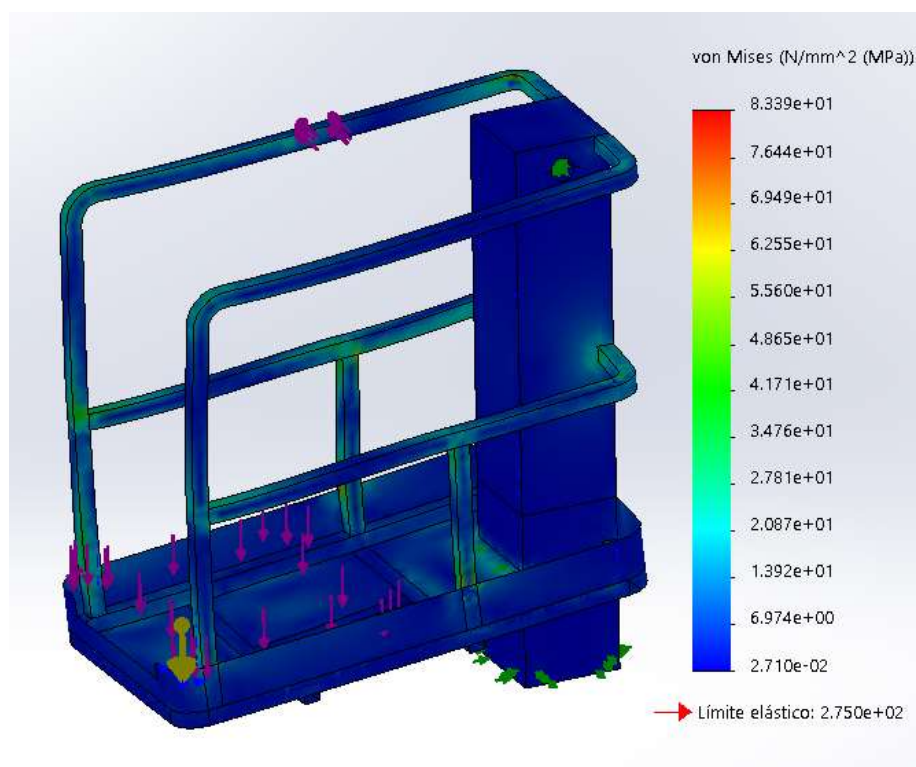
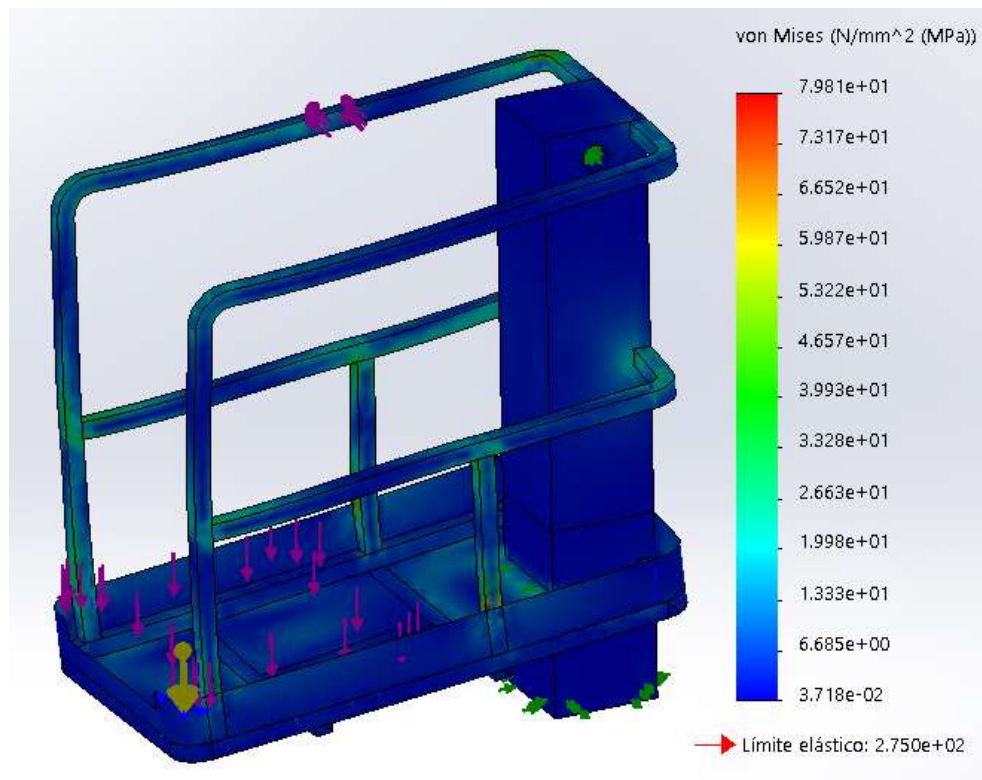


Imagen 19: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)





*Imagen 20: Tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)*

### 1.2.2. Análisis estático malla fina

Seleccionando 60mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 19,99) y 8 como número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla fina (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	60 mm
Tamaño mín. de elemento	19.9998 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	9221
Número total de elementos	4659
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:02
Nombre de computadora	M-POR1341

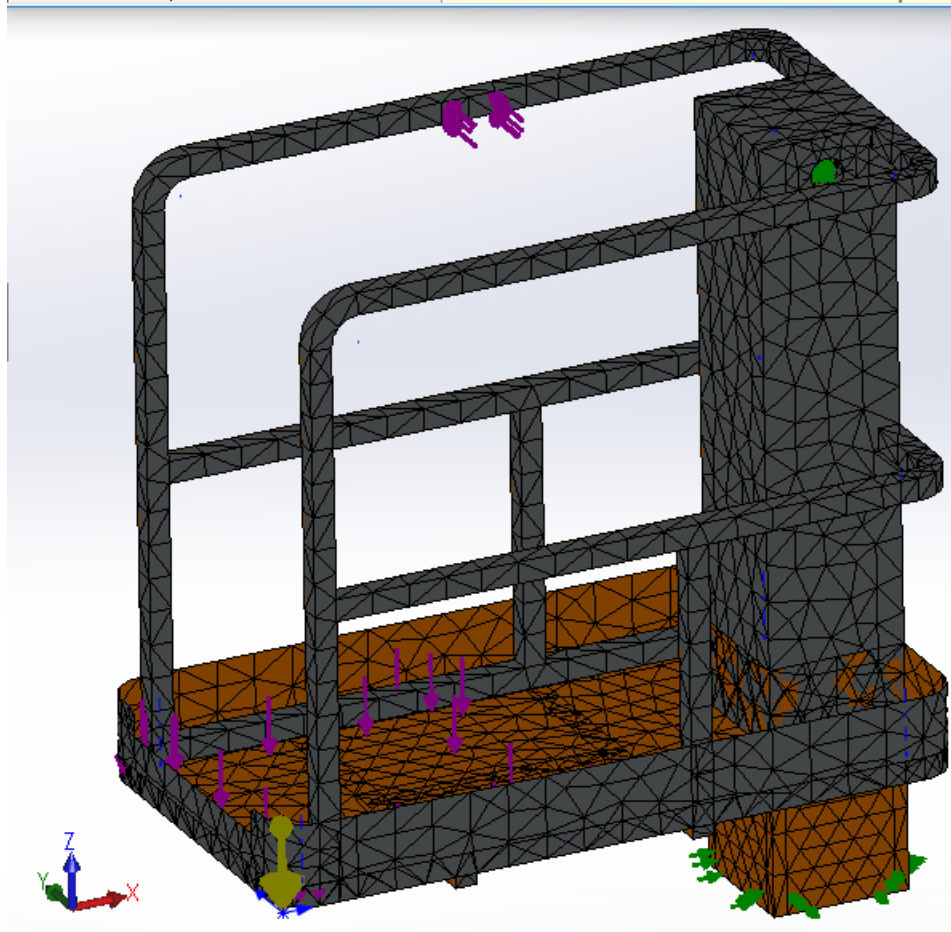


Imagen 21: Características y mallado (malla fina)

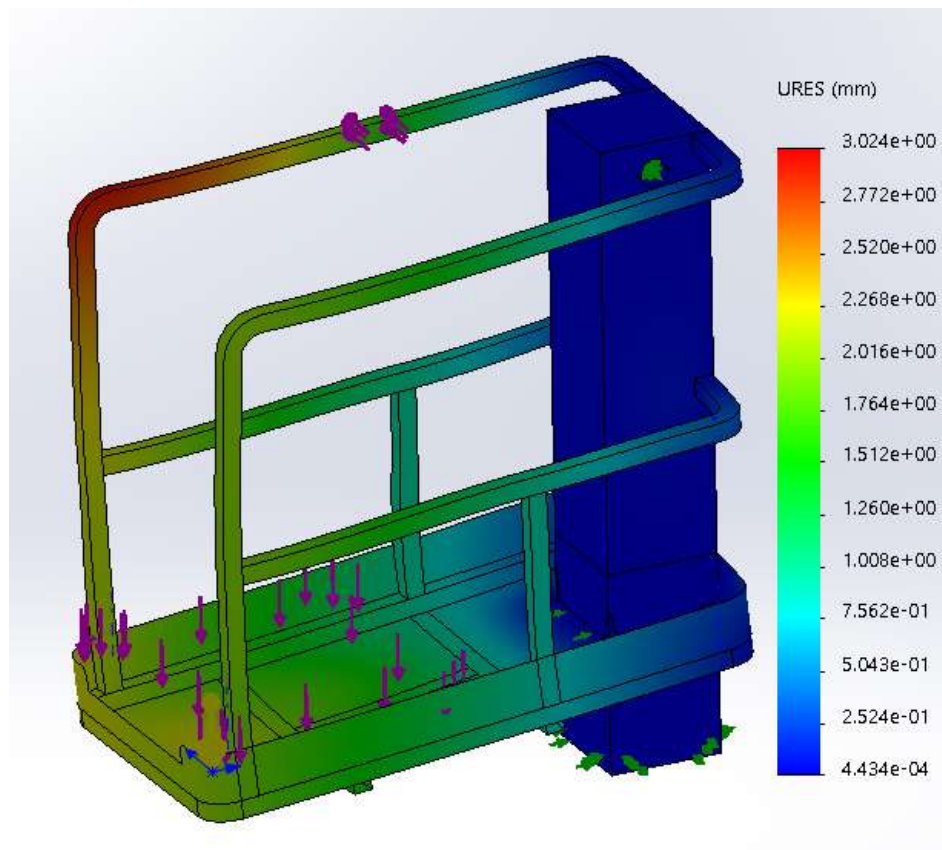


Imagen 22: Desplazamientos (malla fina)

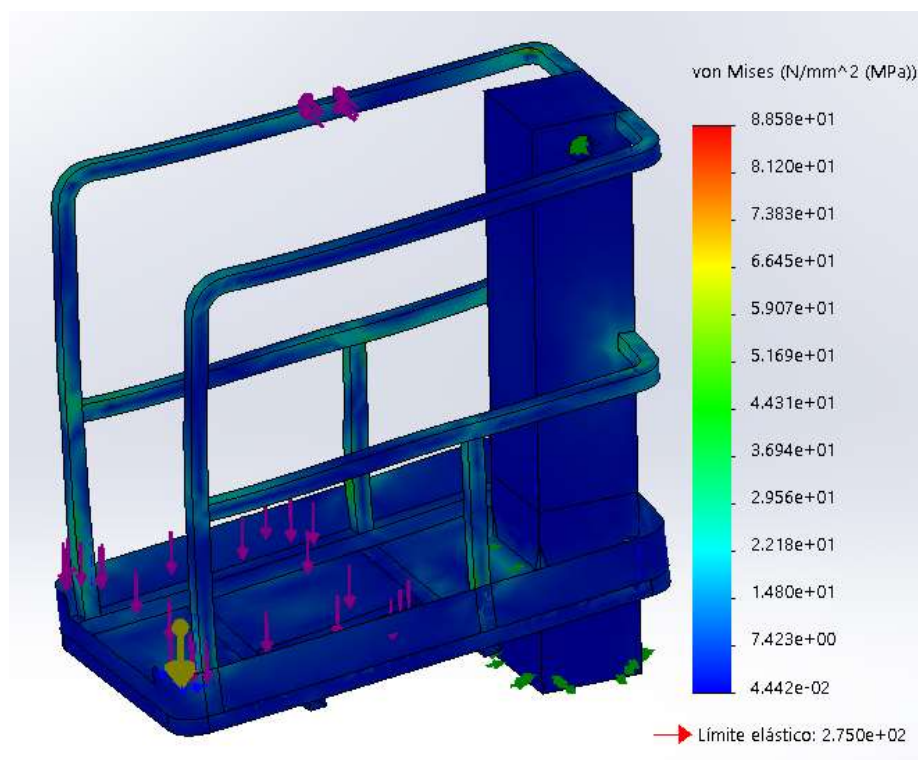
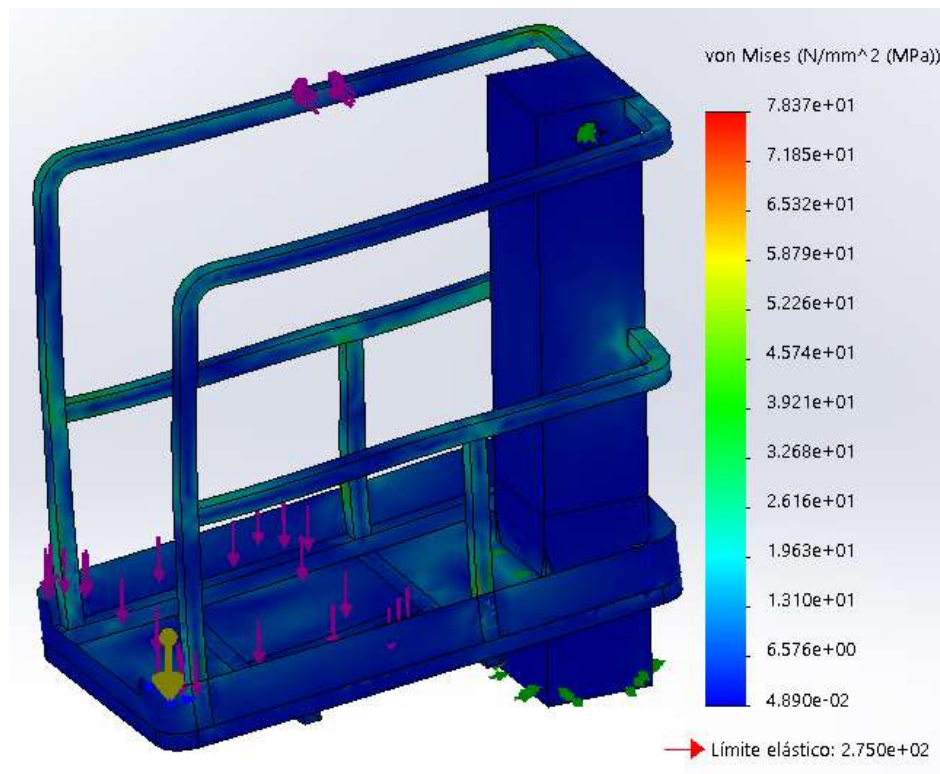


Imagen 23: Tensión cara superior del elemento (malla fina)





*Imagen 24: tensión cara inferior del elemento (malla fina)*

### 1.2.3. Análisis estático malla gruesa

Seleccionando 120mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 39,99) y conservando 8 para el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla gruesa (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	120 mm
Tamaño mín. de elemento	39.9996 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	4381
Número total de elementos	2219
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:02
Nombre de computadora	M-POR1341

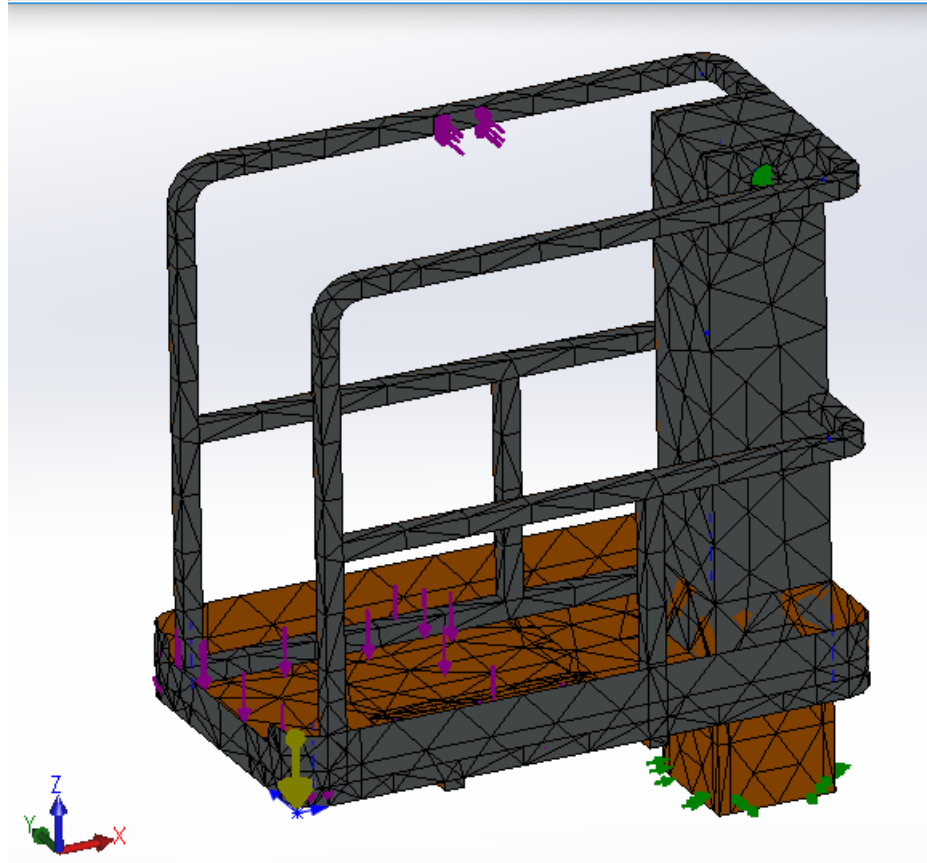


Imagen 25: Características y mallado (malla gruesa)

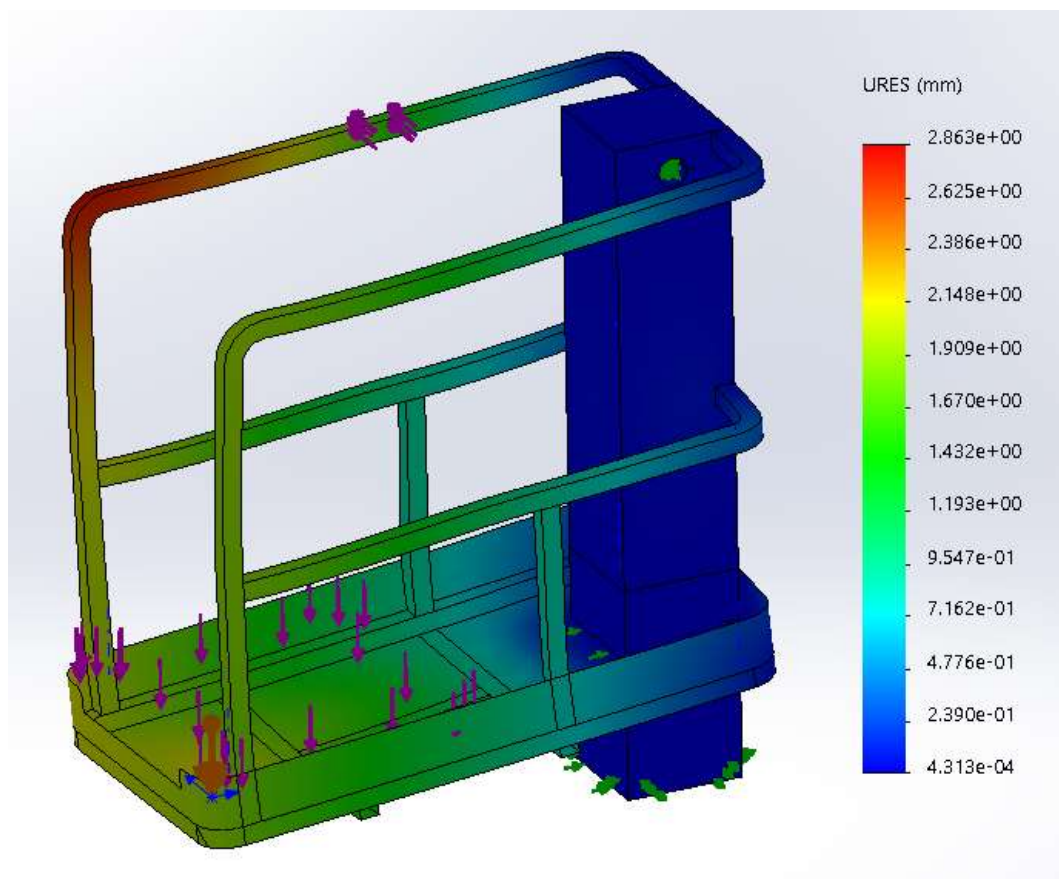


Imagen 26: Desplazamiento (malla gruesa)

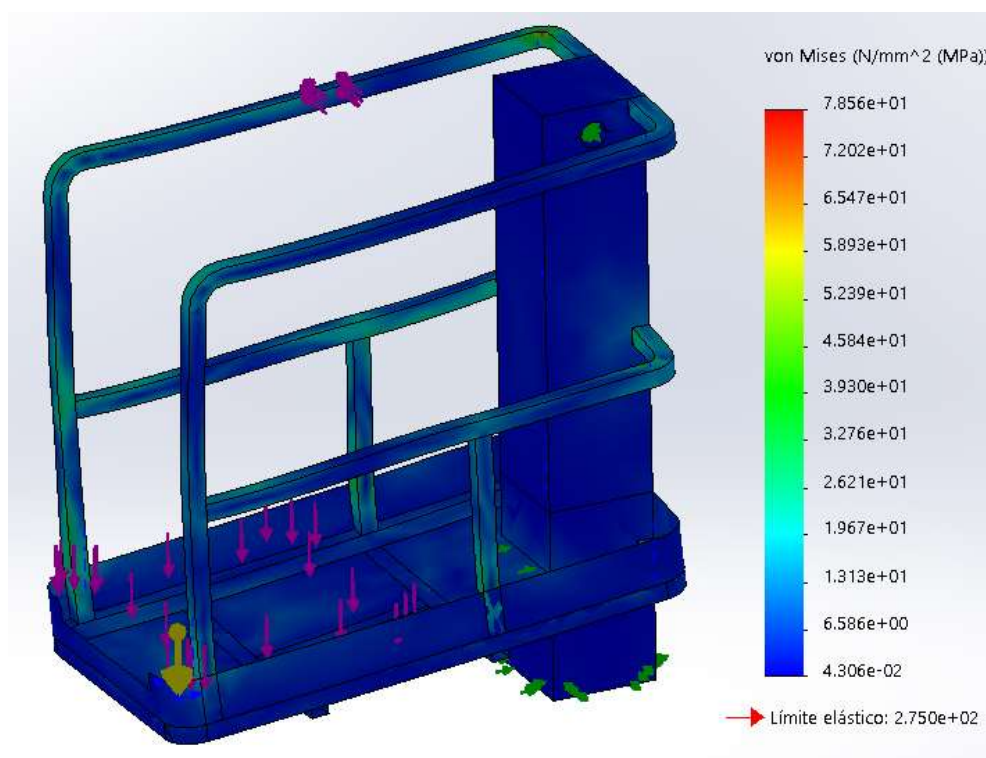


Imagen 27: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)

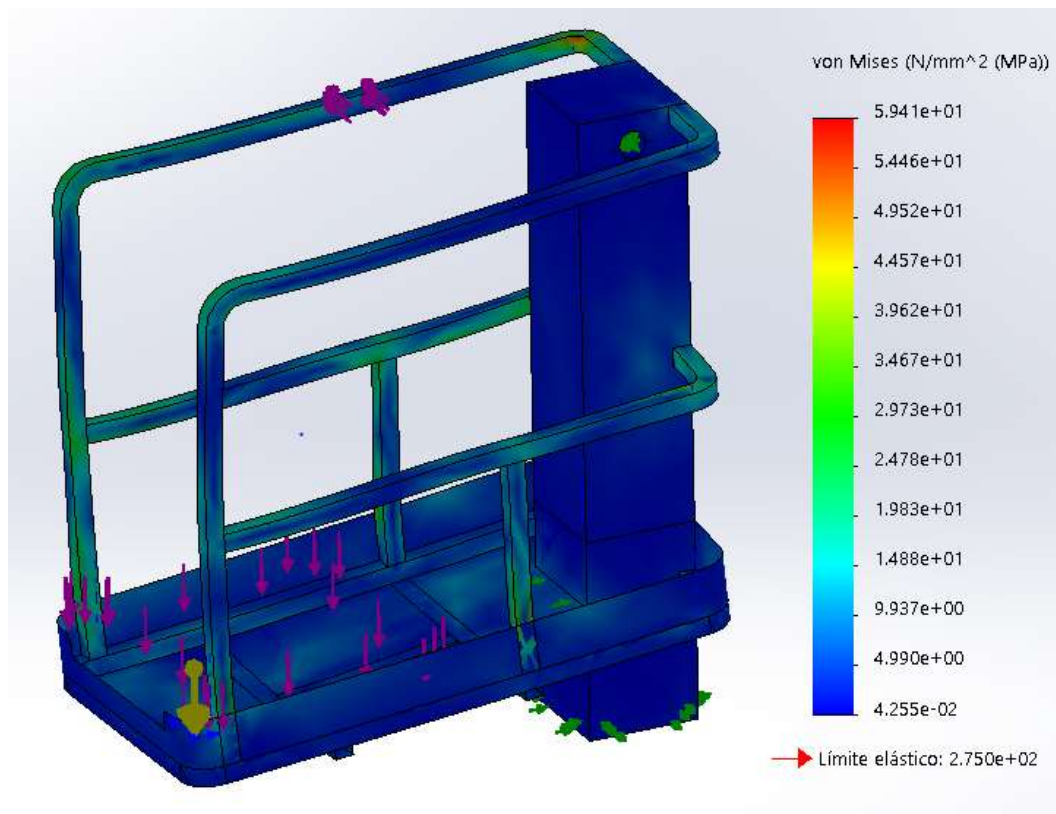


Imagen 28: Tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)

#### 1.2.4. Análisis estático malla muy gruesa

Escogiendo 140mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento el establecido por el software (en este caso 46,66) y como llevamos haciendo durante este segundo estudio designaremos 8 para el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla muy gruesa (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	140 mm
Tamaño mín. de elemento	46.6662 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	3849
Número total de elementos	1951
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:02
Nombre de computadora	M-POR1341

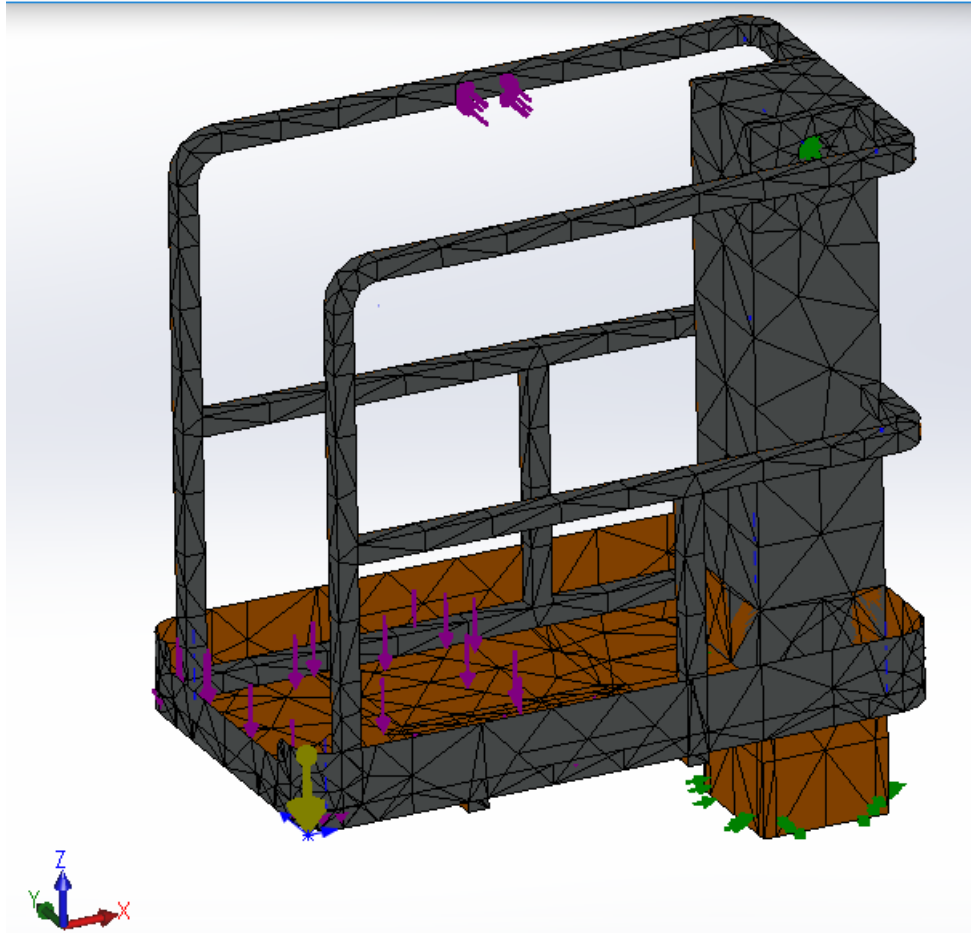


Imagen 29: Características y mallado (malla muy gruesa)



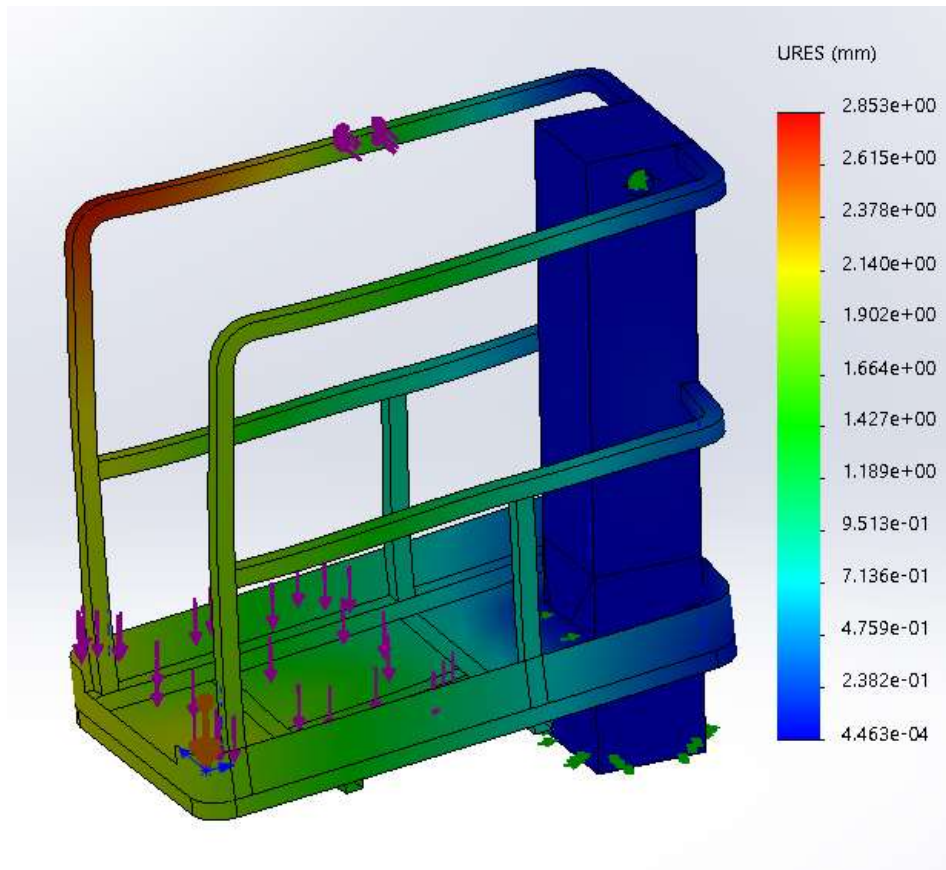


Imagen 30: Desplazamiento (malla muy gruesa)

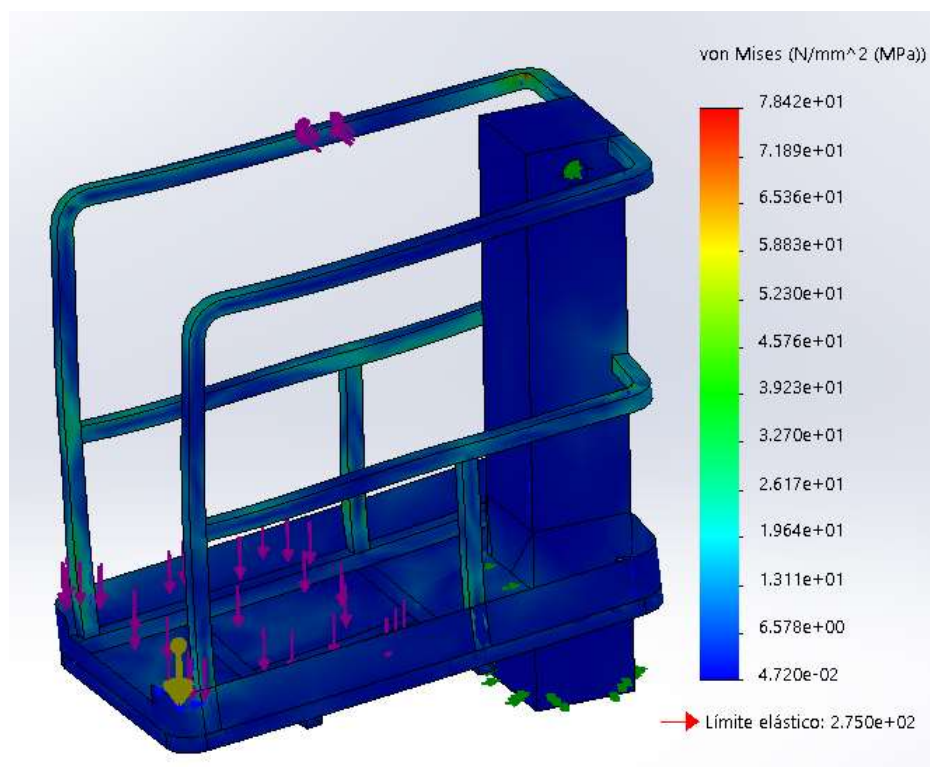


Imagen 31: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)

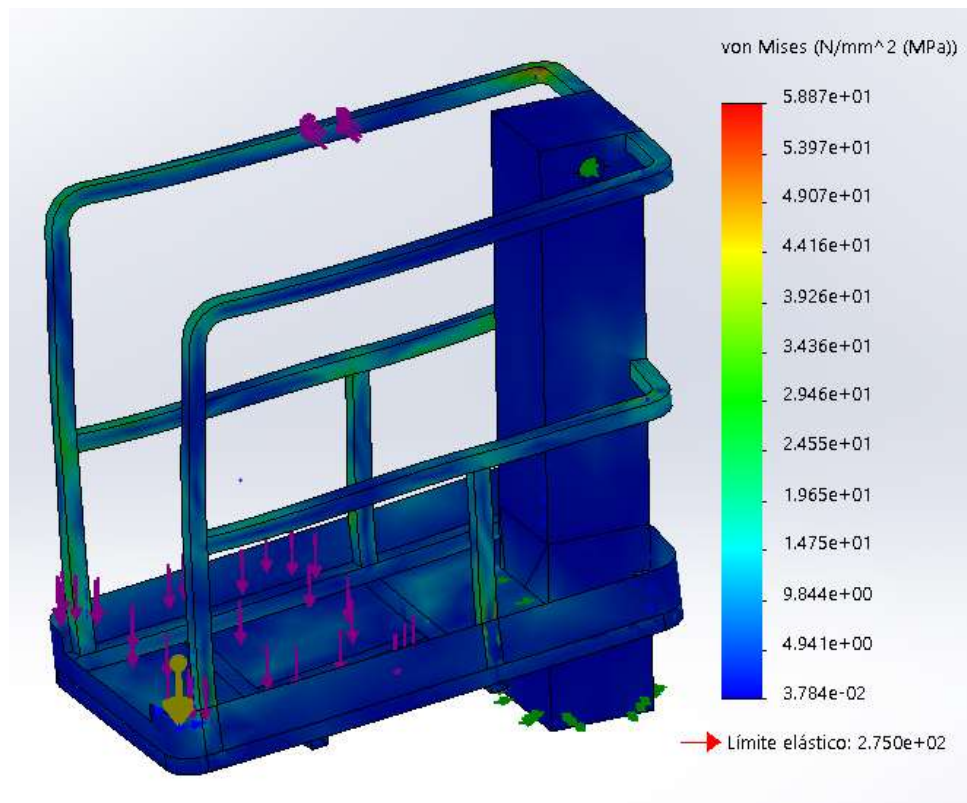


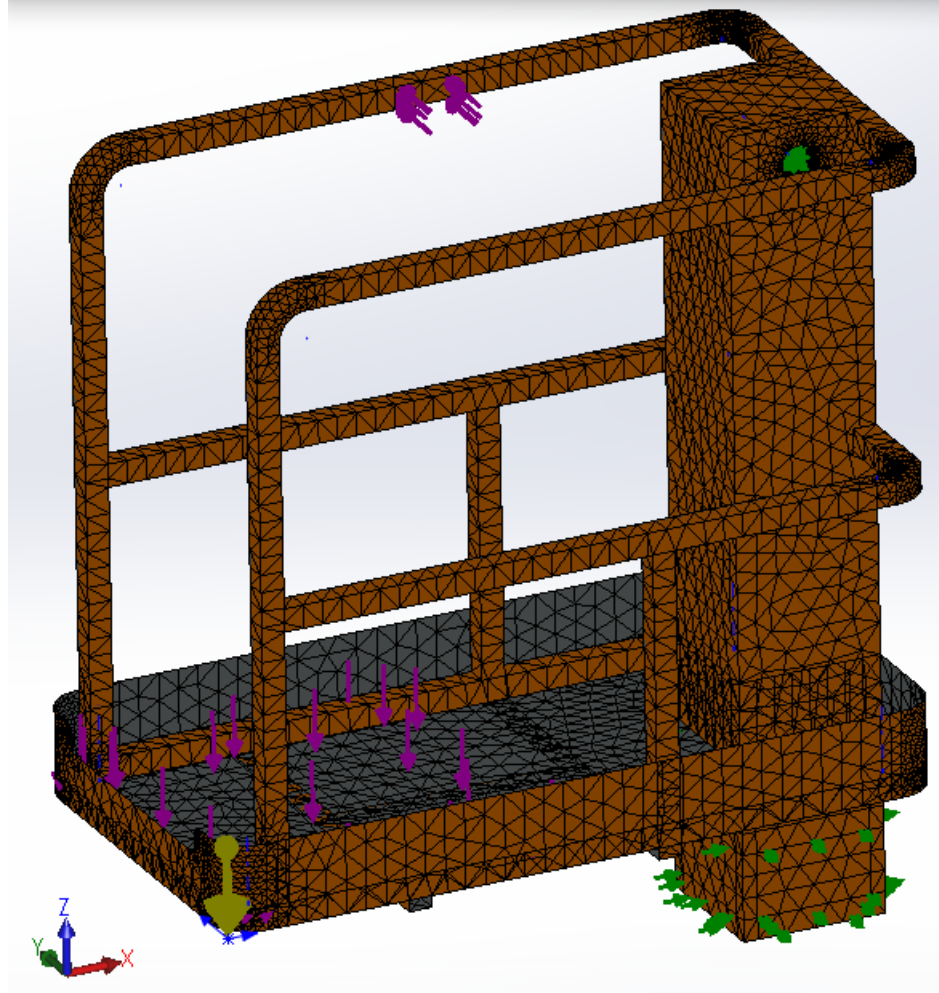
Imagen 32: Tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)

### 1.3. CONFIGURACIÓN MALLADO 3:

#### 1.3.1. Análisis estático malla muy fina

Aplicando 40mm como tamaño máximo del elemento, 5 mm para el tamaño mínimo del elemento y 32 el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla muy fina (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	40 mm
Tamaño mín. de elemento	5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	31524
Número total de elementos	15826
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:07
Nombre de computadora	M-POR1341



*Imagen 33: Características y mallado (malla muy fina)*



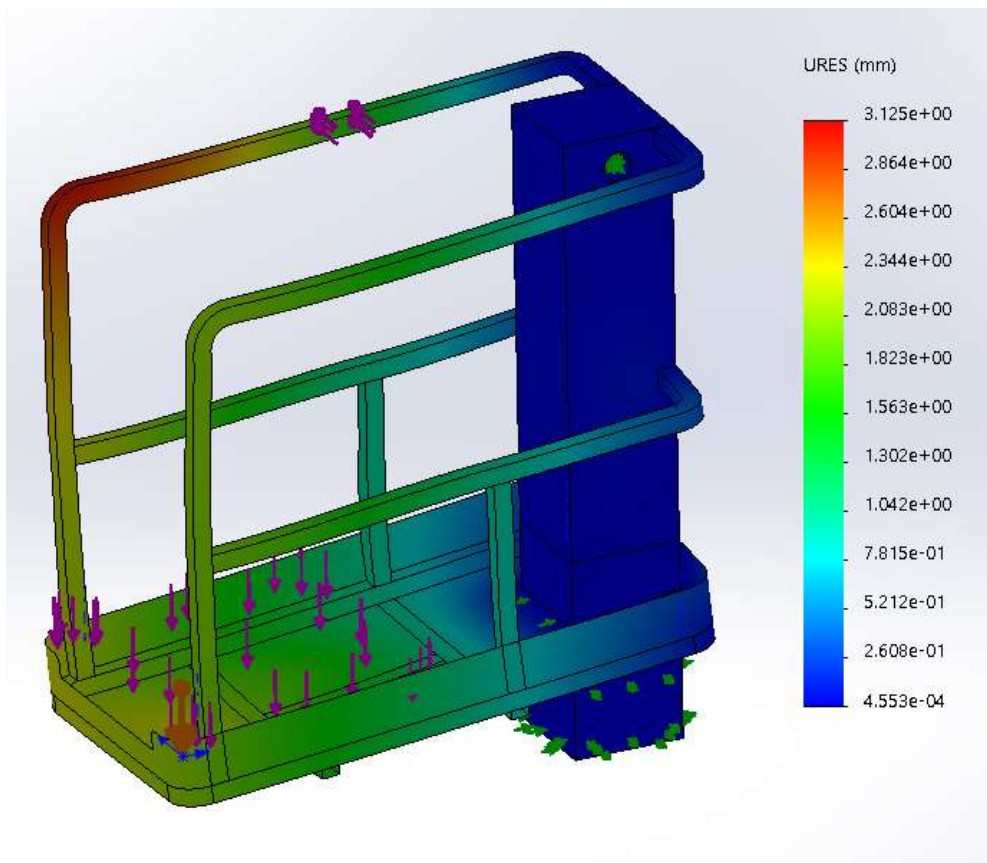


Imagen 34: Desplazamiento (malla muy fina)

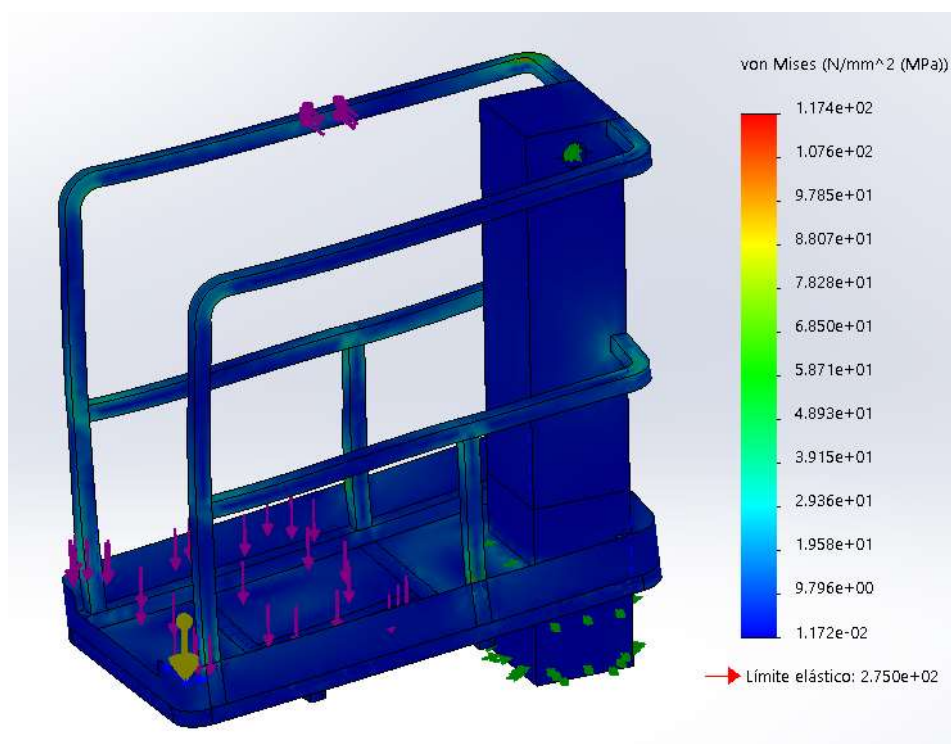
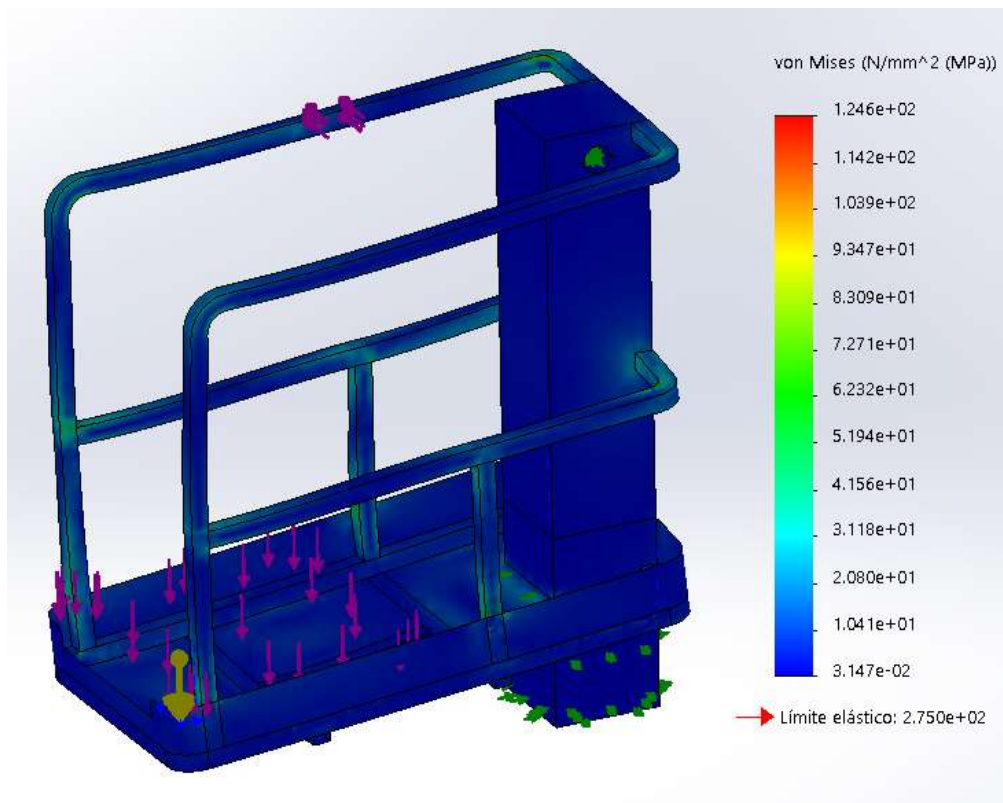


Imagen 35: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)

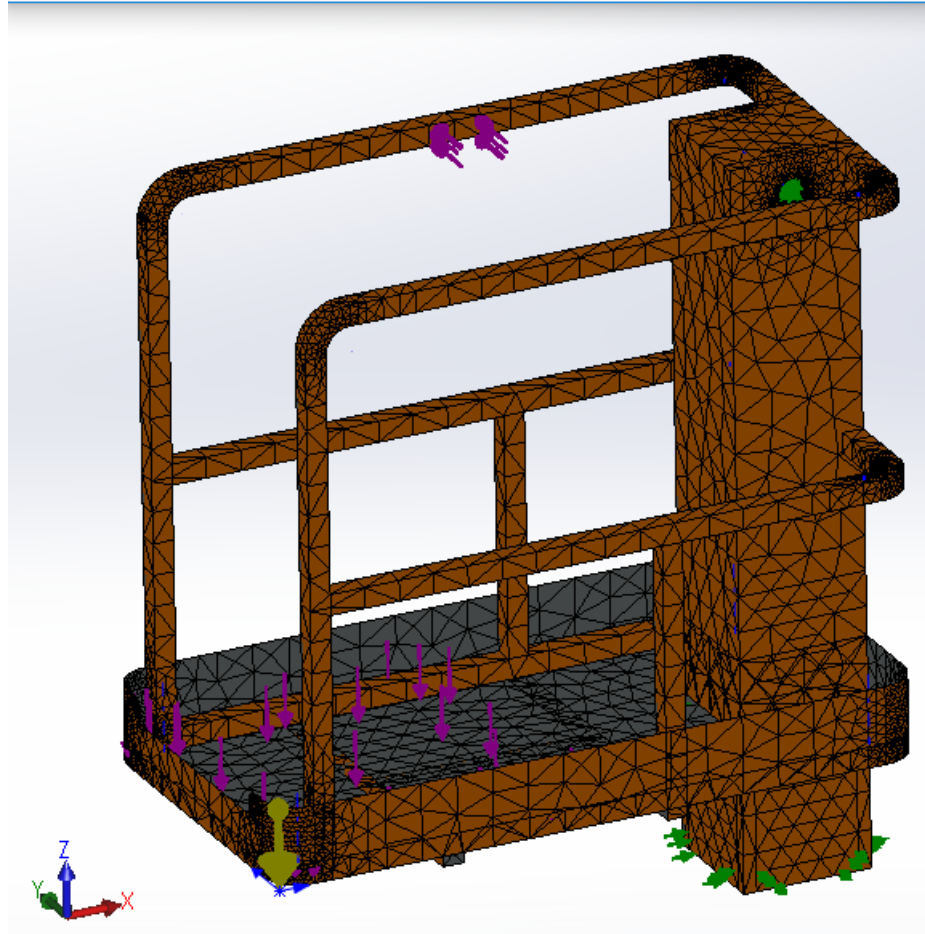


*Imagen 36: tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)*

### 1.3.2. Análisis estático malla fina

Seleccionando 60mm como tamaño máximo del elemento, el tamaño mínimo del elemento se fija en 5mm y 32 como número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla fina (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	60 mm
Tamaño mín. de elemento	5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	26694
Número total de elementos	13396
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:06
Nombre de computadora	M-POR1341



*Imagen 37: Características y mallado (malla fina)*

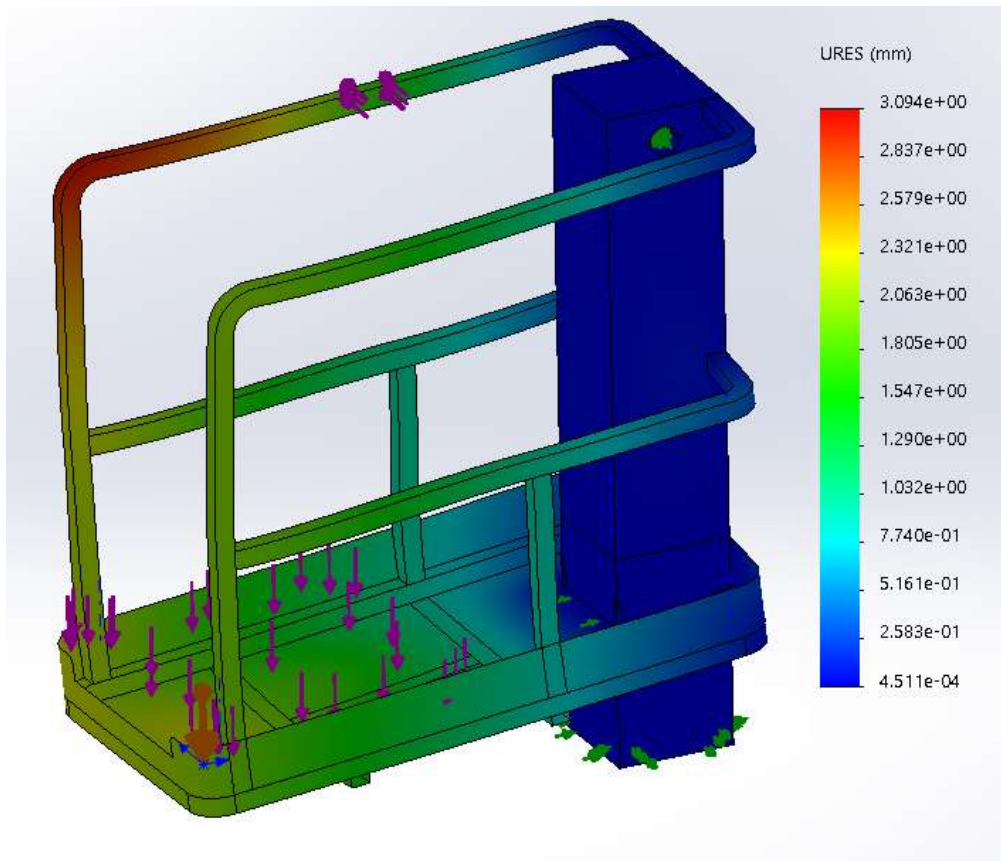


Imagen 38: Desplazamiento (malla fina)

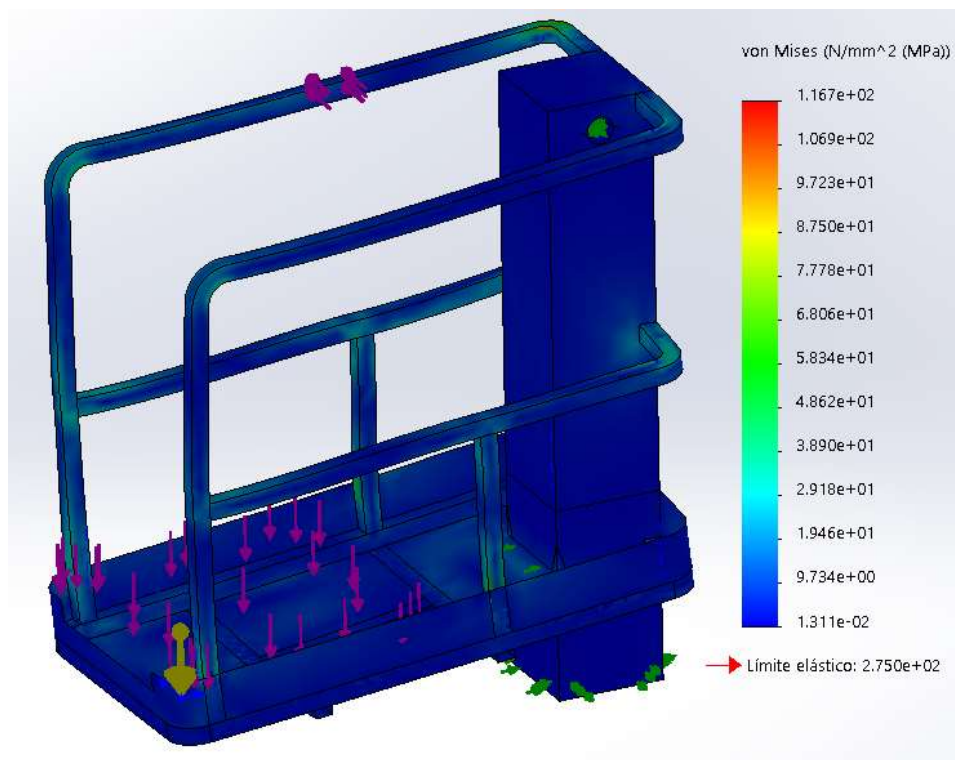


Imagen 39: tensión cara superior del elemento (malla fina)

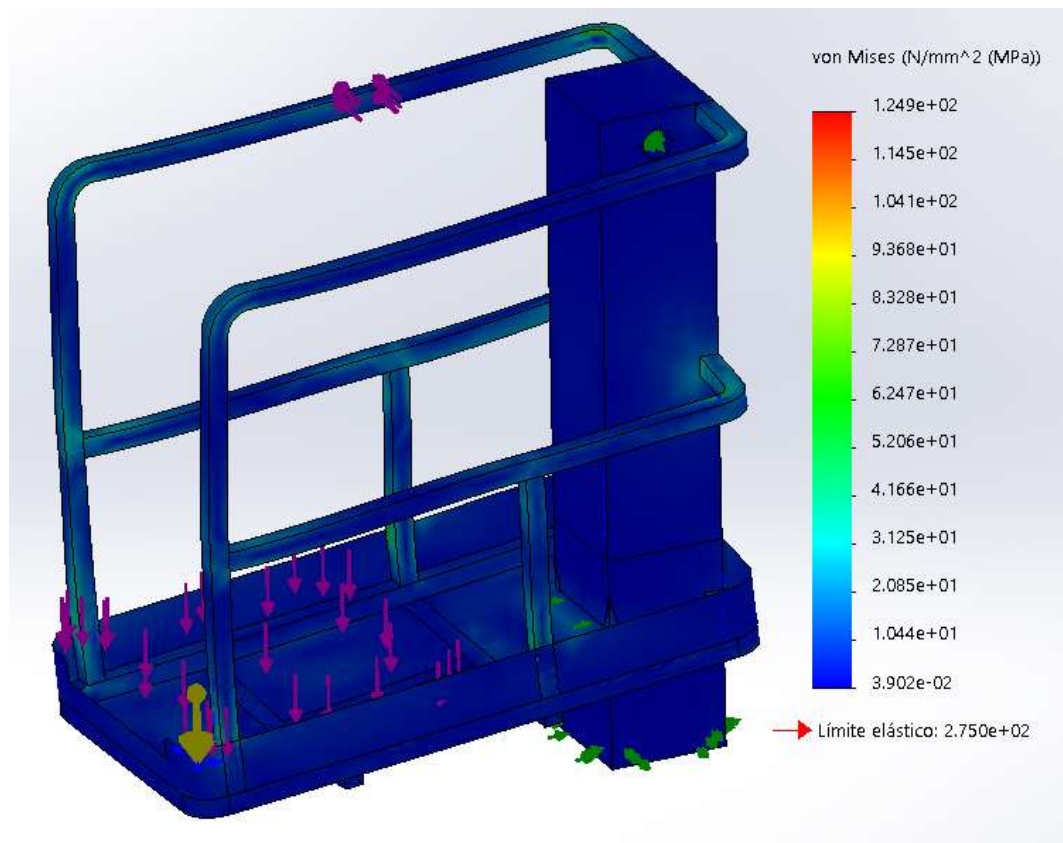


Imagen 40: tensión cara inferior del elemento (malla fina)



### 1.3.3. Análisis estático malla gruesa

Utilizando como tamaño máximo del elemento 120mm, 5mm para el tamaño mínimo del elemento y 32 para el número mínimo de elementos en un círculo.

Nombre de estudio	Análisis estático Malla gruesa (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	120 mm
Tamaño mín. de elemento	5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	26437
Número total de elementos	13265
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:05
Nombre de computadora	M-POR1341

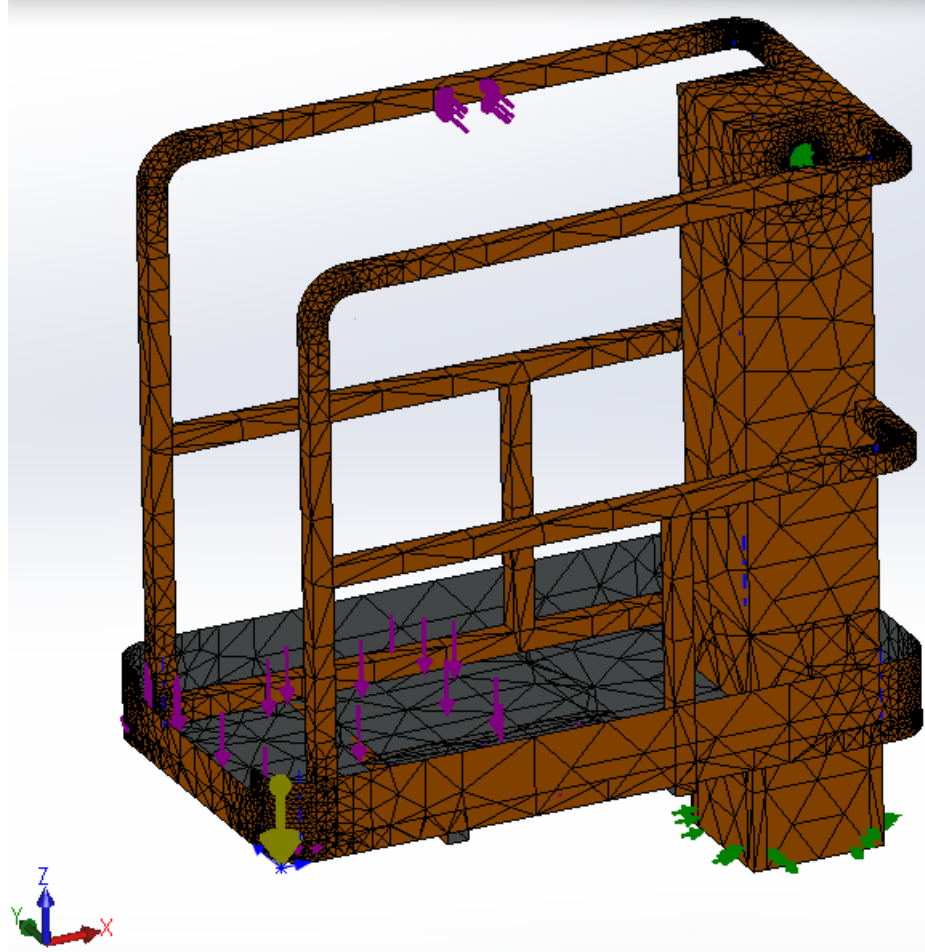


Imagen 41: Características y mallado (malla gruesa)

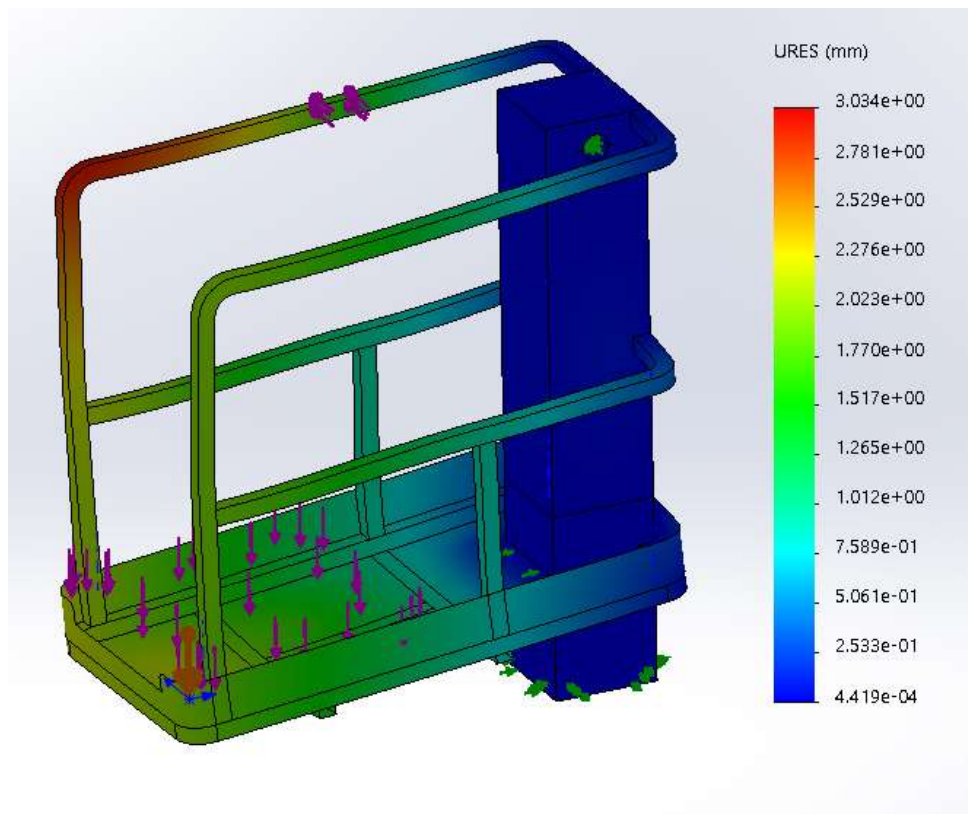


Imagen 42: Desplazamiento (malla gruesa)

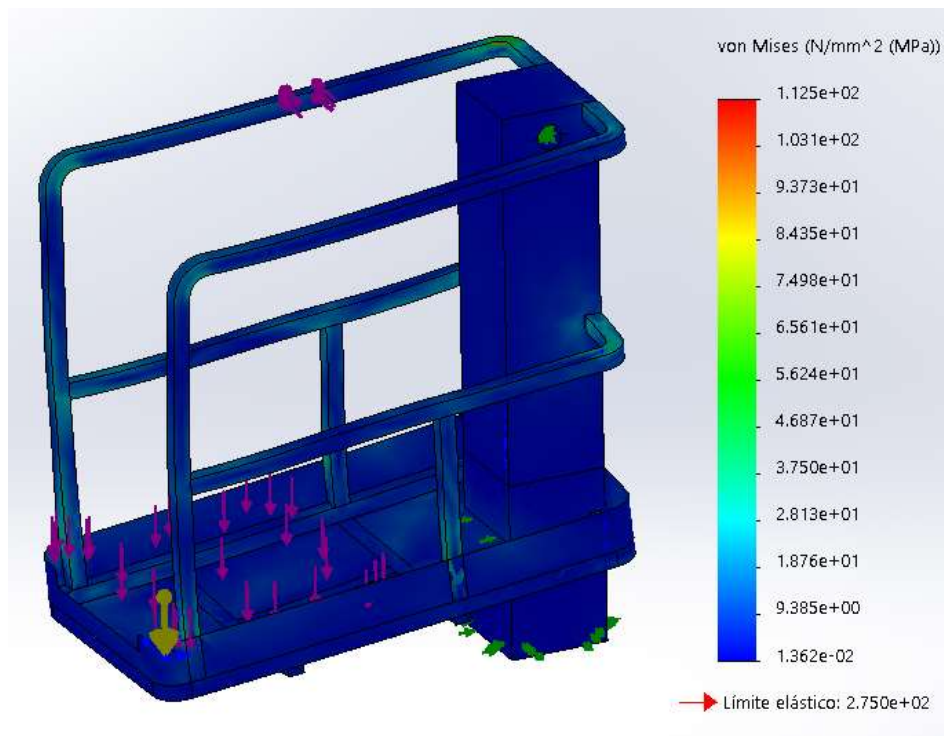


Imagen 43: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)

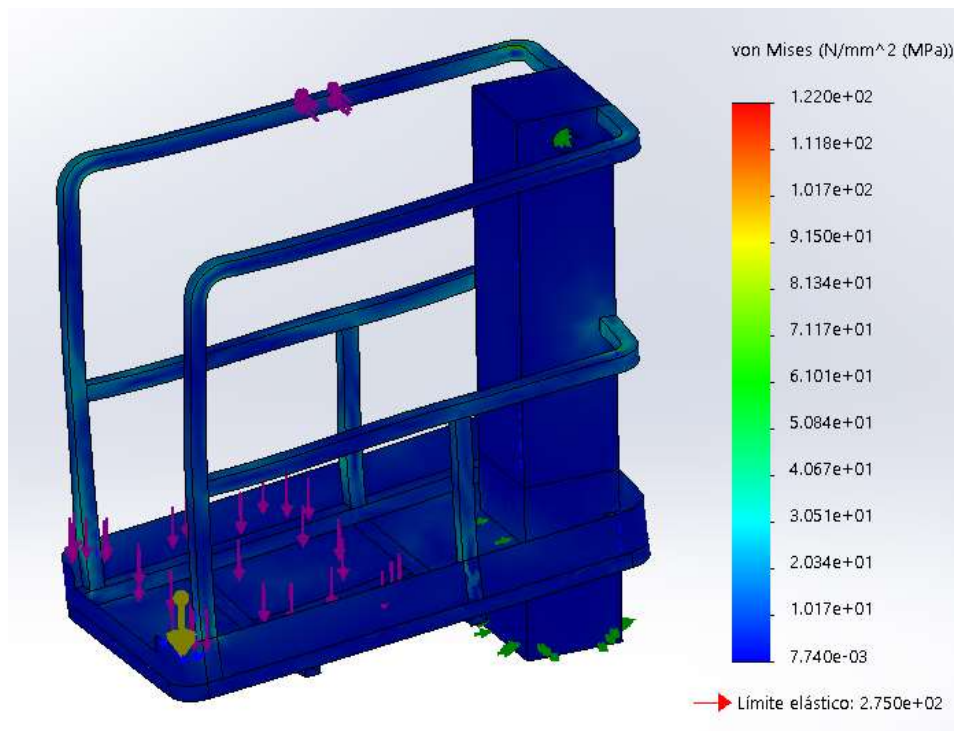
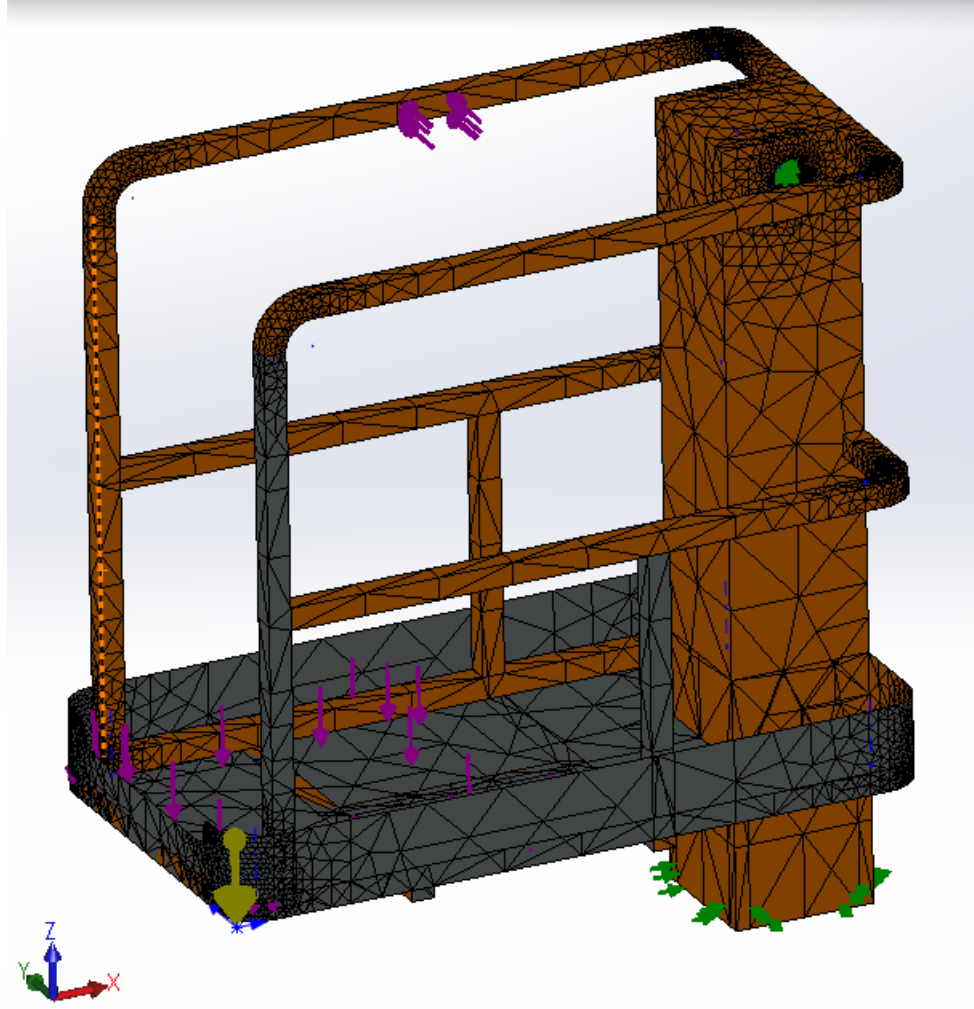


Imagen 44: Tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)



#### 1.3.4. Análisis estático malla muy gruesa

Nombre de estudio	Análisis estático Malla muy gruesa (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	140 mm
Tamaño mín. de elemento	5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	26878
Número total de elementos	13484
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:08
Nombre de computadora	M-POR1341



*Imagen 45: Características y mallado (malla muy gruesa)*

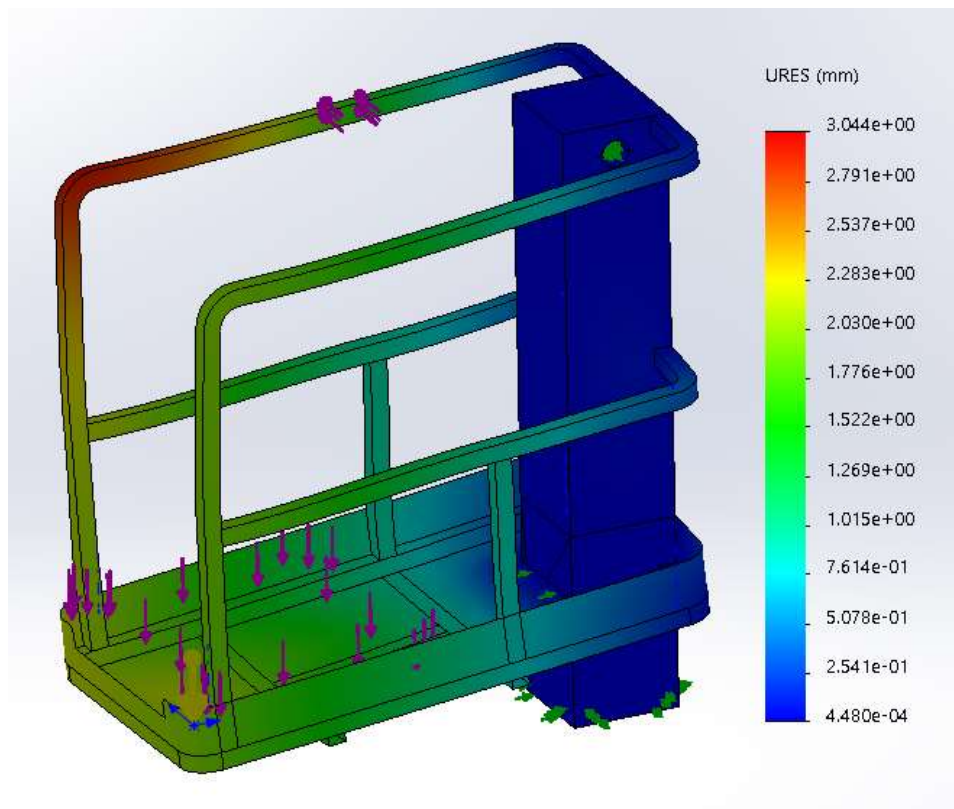


Imagen 46: Desplazamiento (malla muy gruesa)

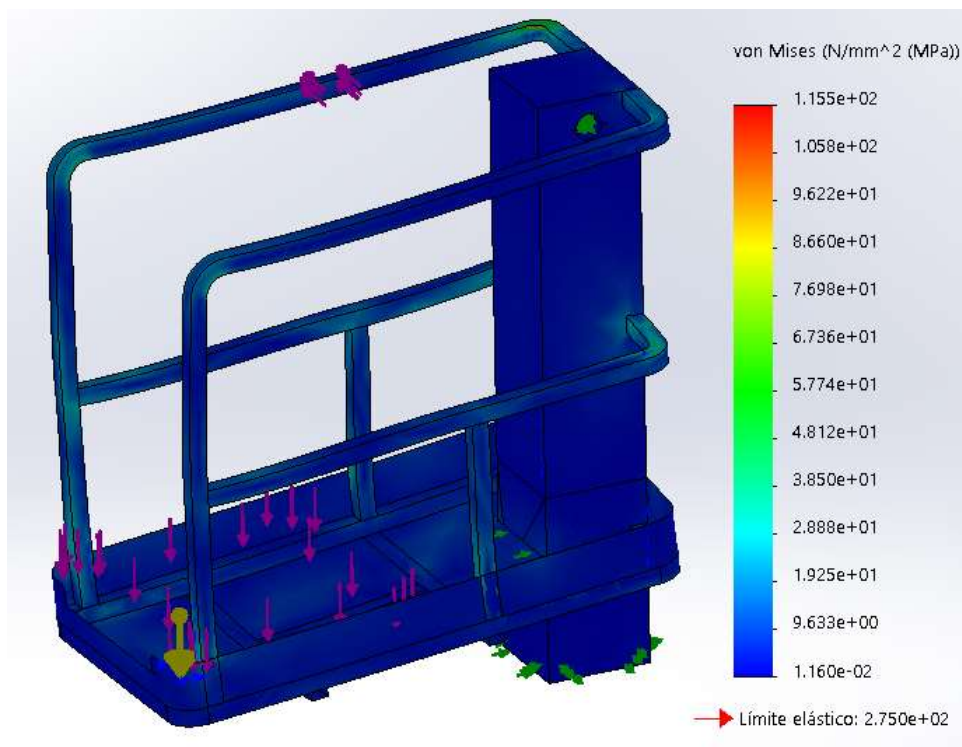
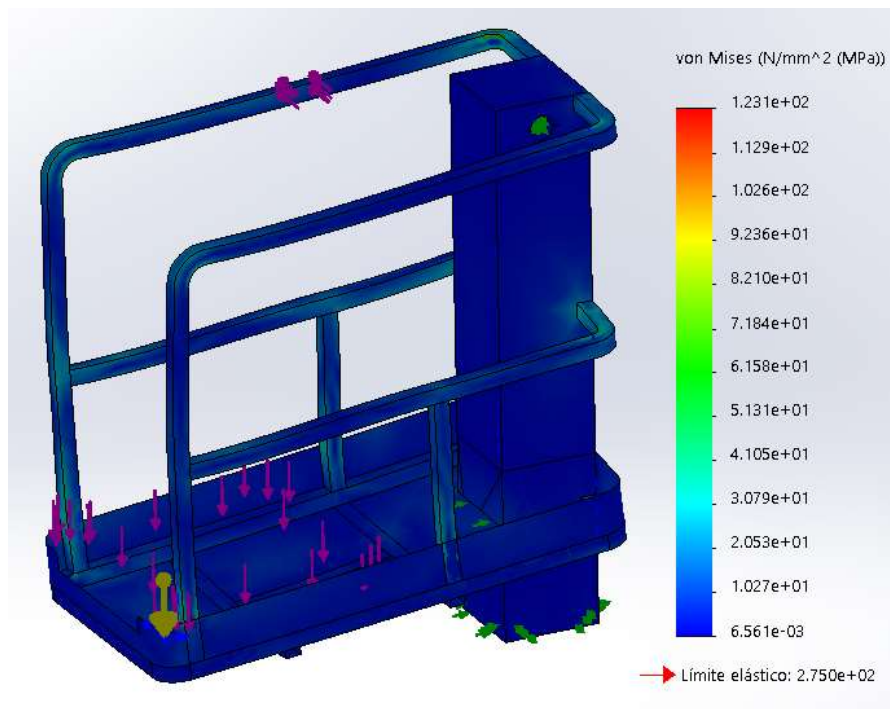


Imagen 47: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)



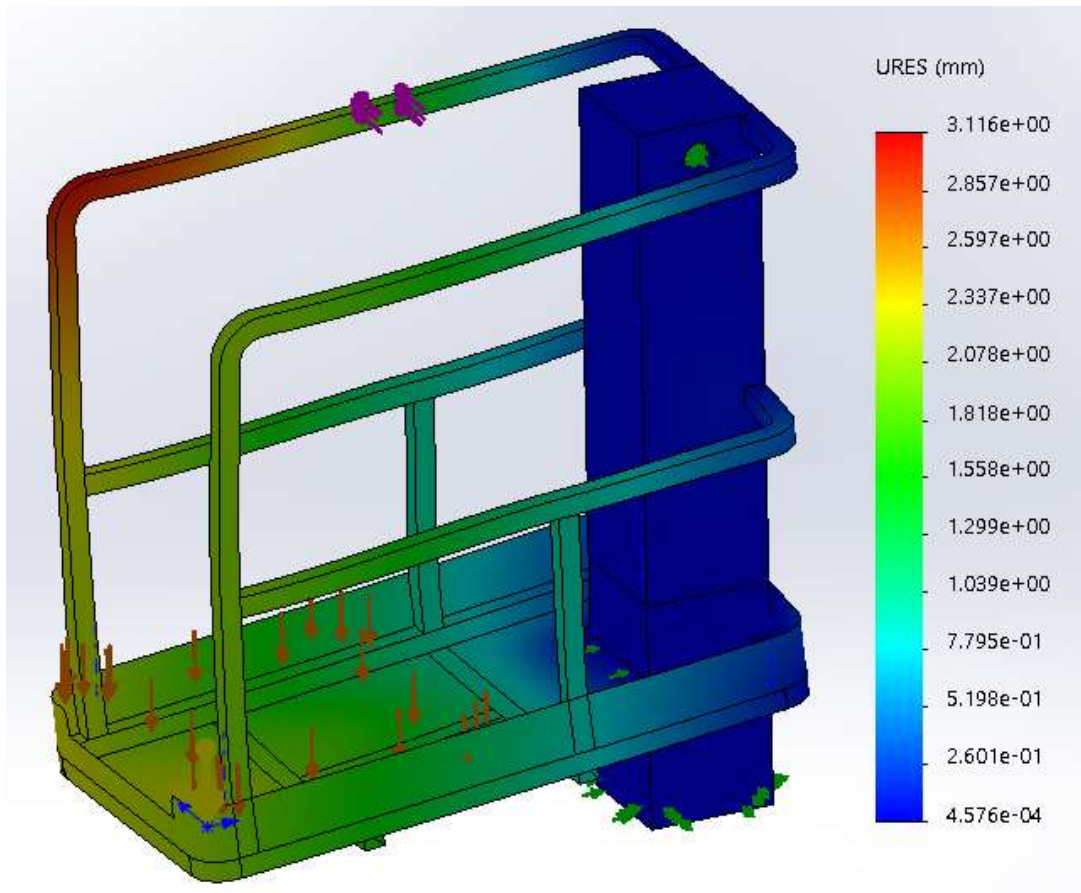
*Imagen 48: Tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)*

## 2. ESTUDIO 2

---

### 2.1. CONFIGURACIÓN MALLADO 2 (tamaño mínimo del elemento 10mm):

#### 2.1.1. Análisis estático malla muy fina.



*Imagen 49: Desplazamiento (malla muy fina)*

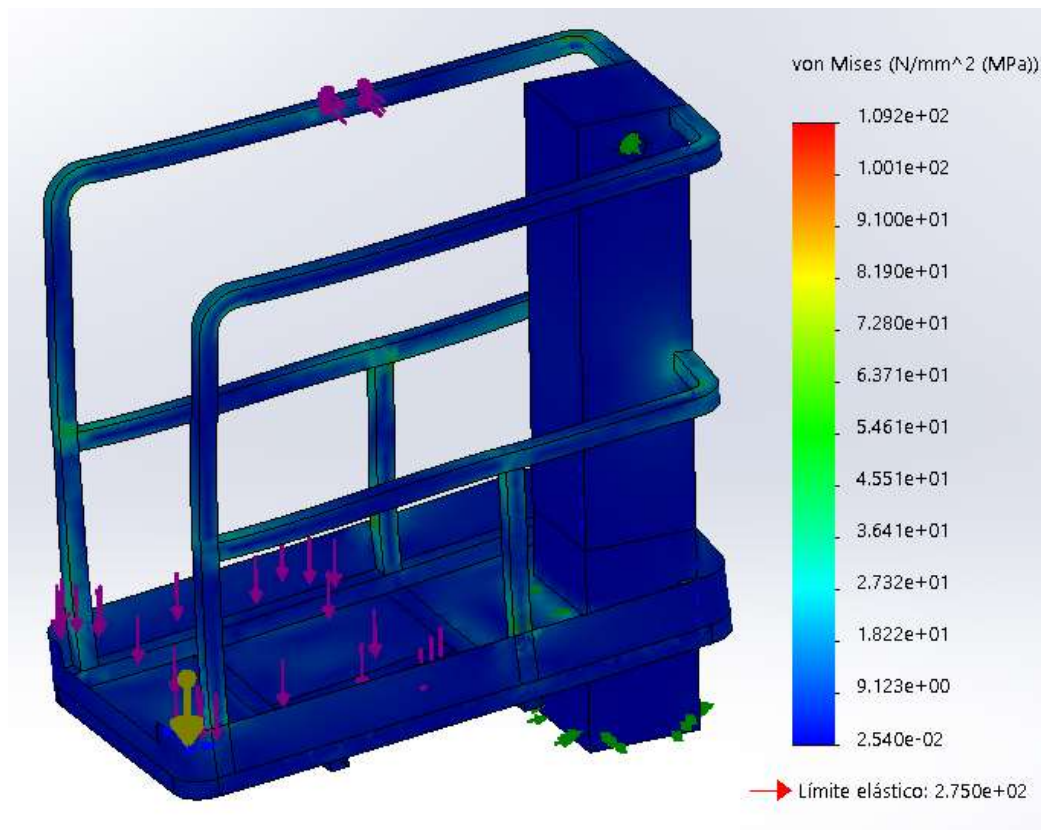


Imagen 50: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)

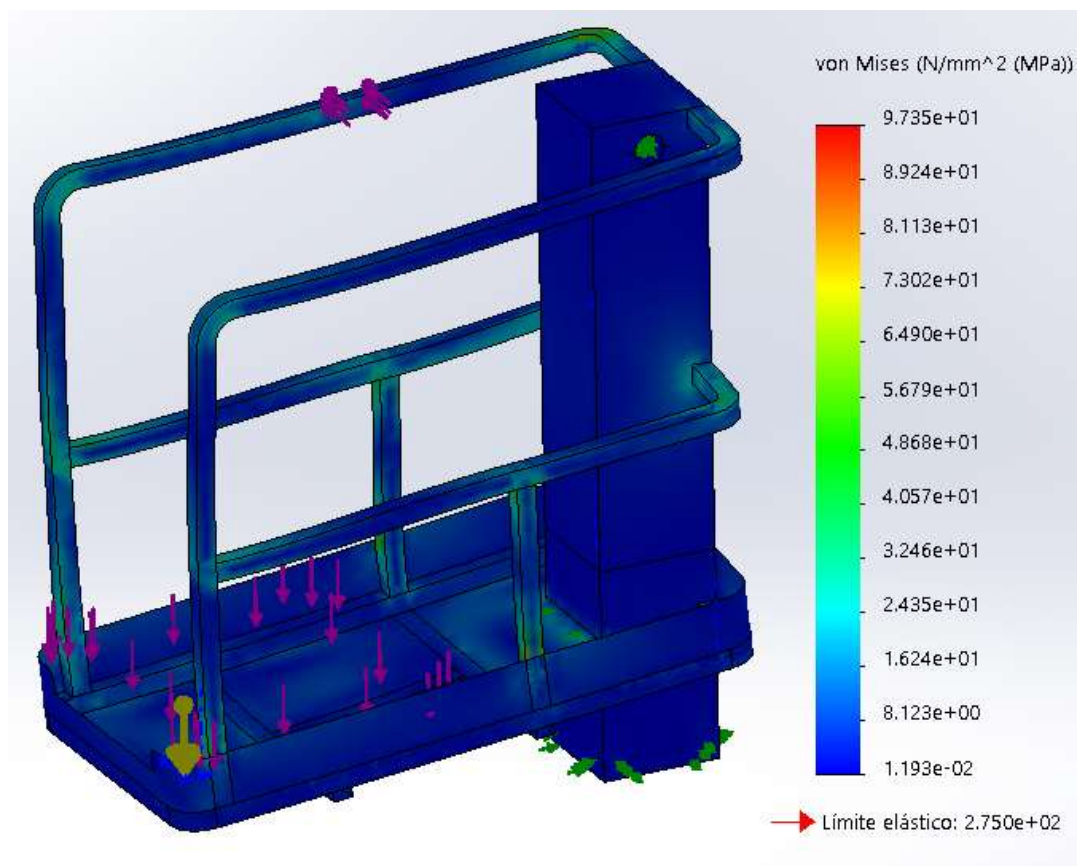
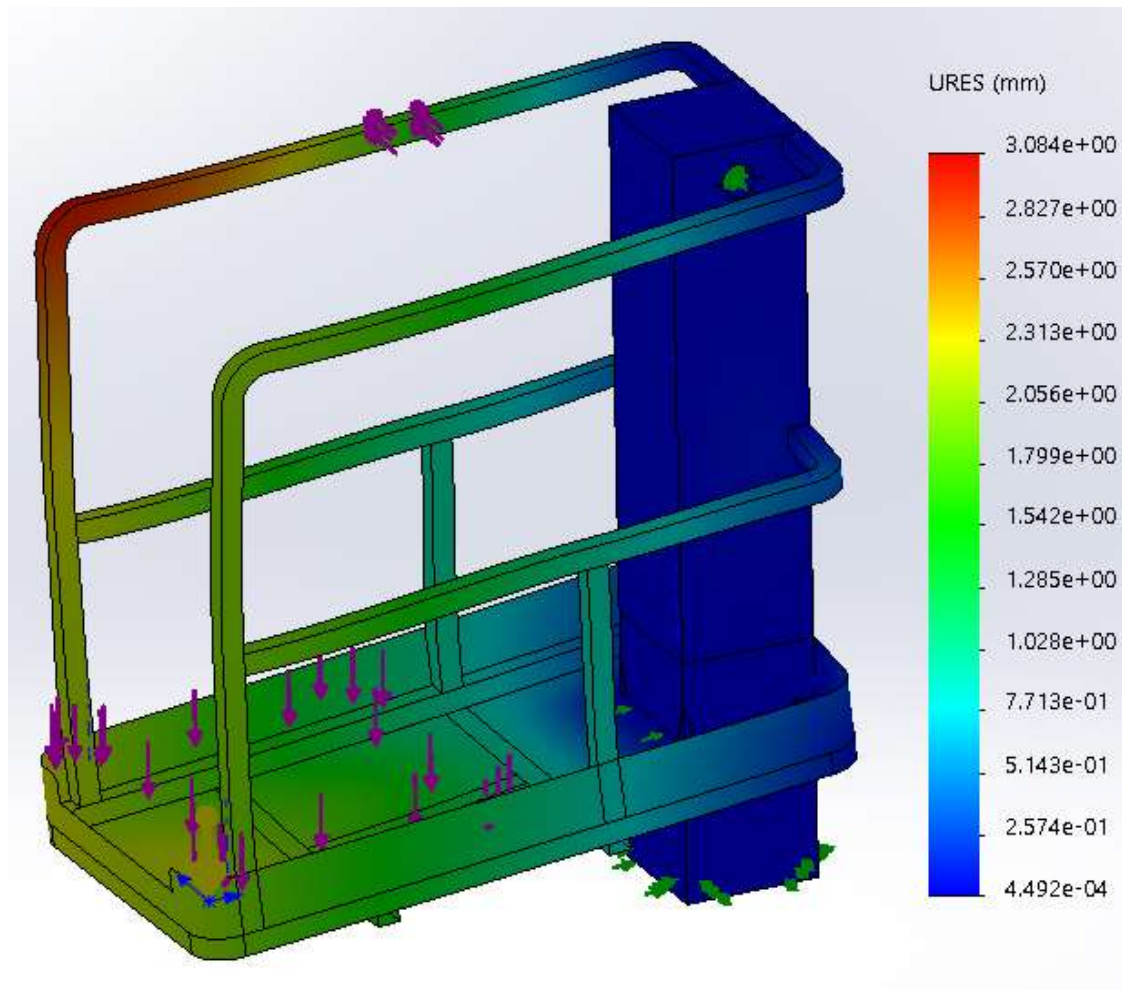


Imagen 51: tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)



### 2.1.2. Análisis estático malla fina



*Imagen 52: Desplazamiento (malla fina)*

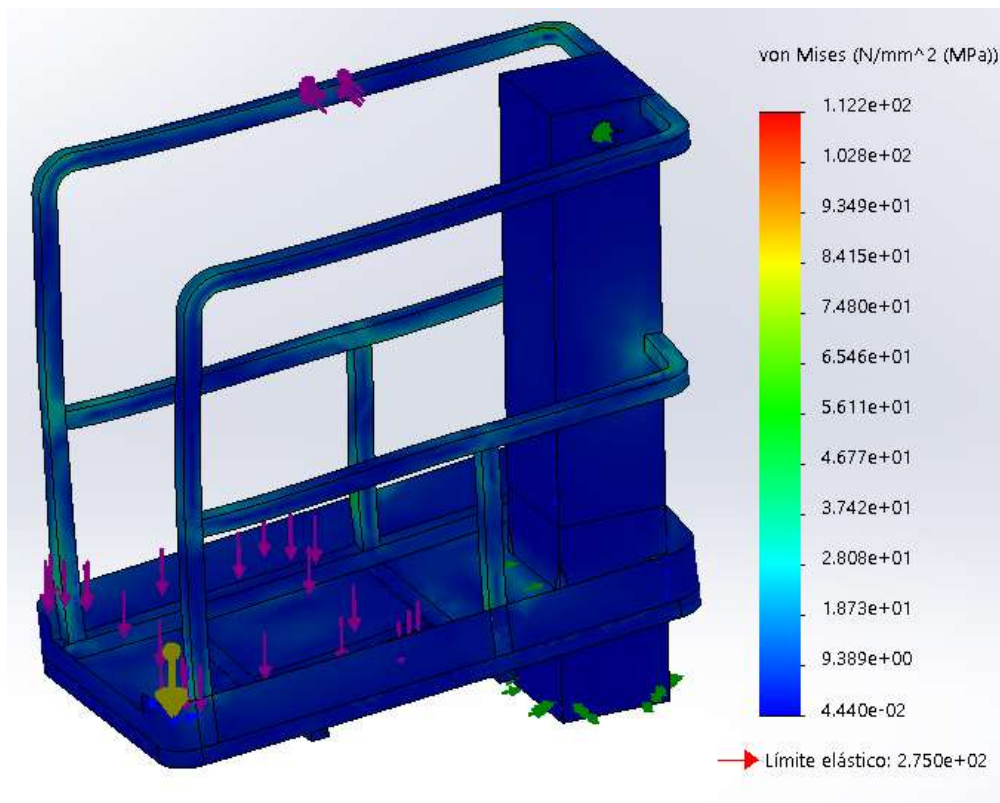


Imagen 53: Tensión cara superior del elemento (malla fina)

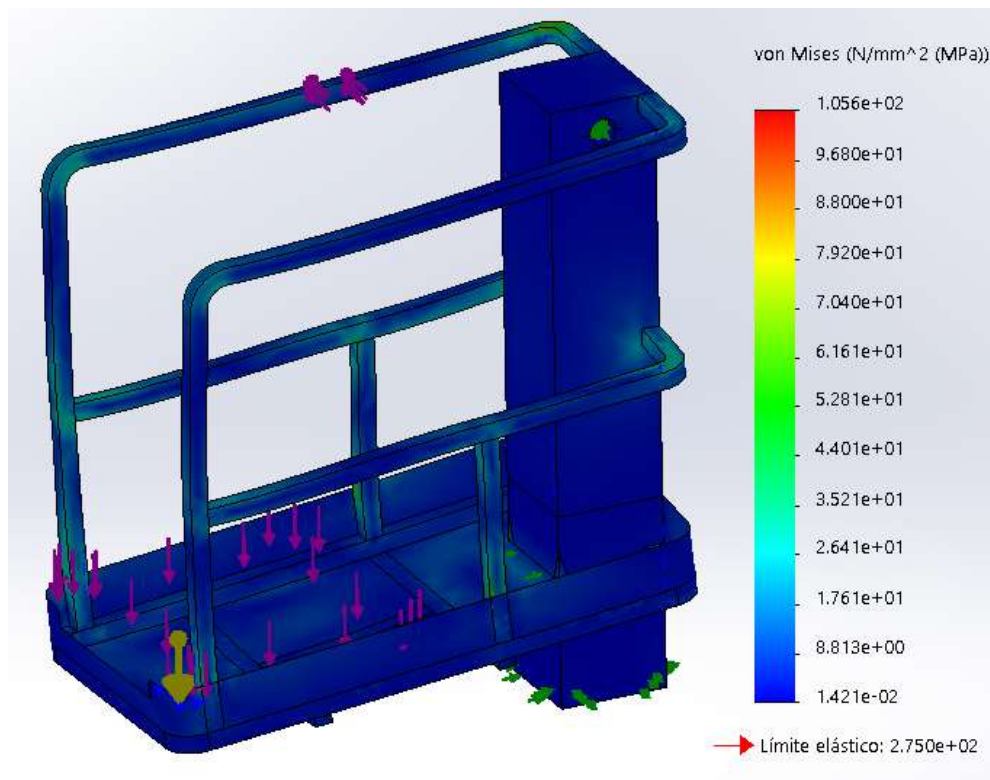
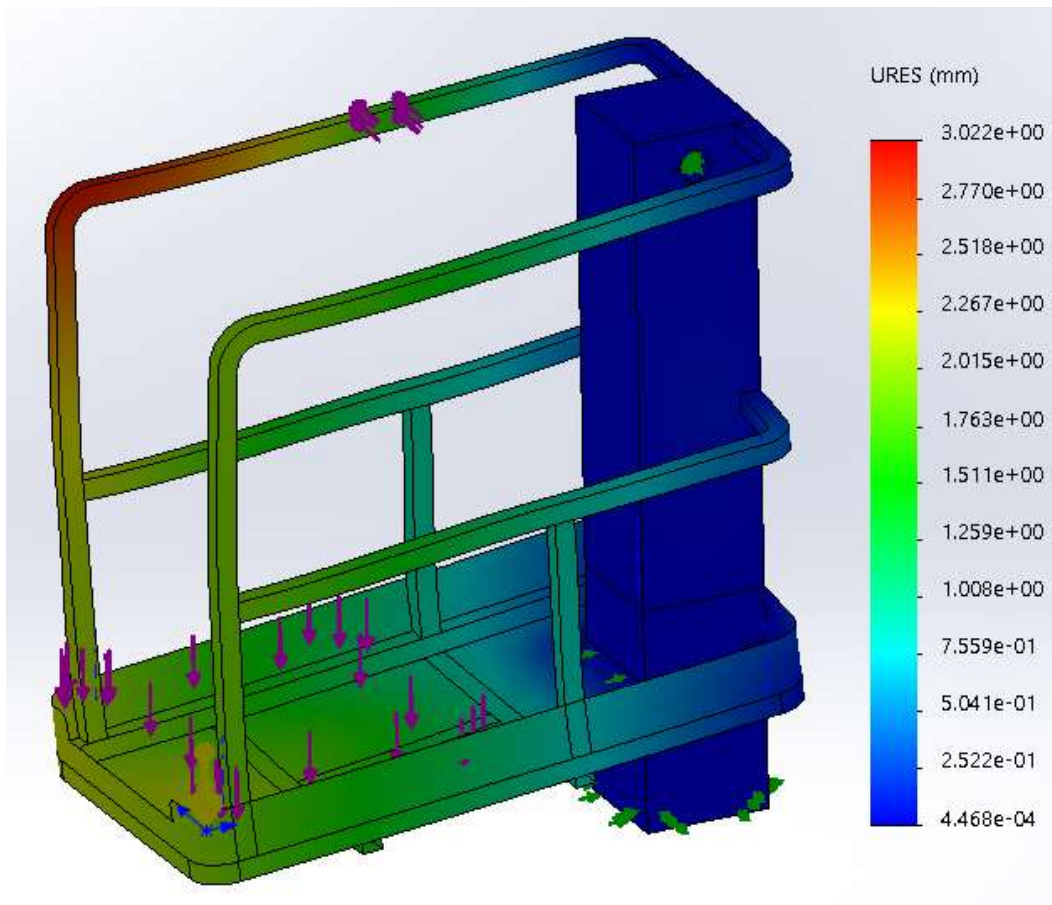


Imagen 54: tensión cara inferior del elemento (malla fina)



### 2.1.3. Análisis estático malla gruesa.



*Imagen 55: Desplazamiento (malla gruesa)*

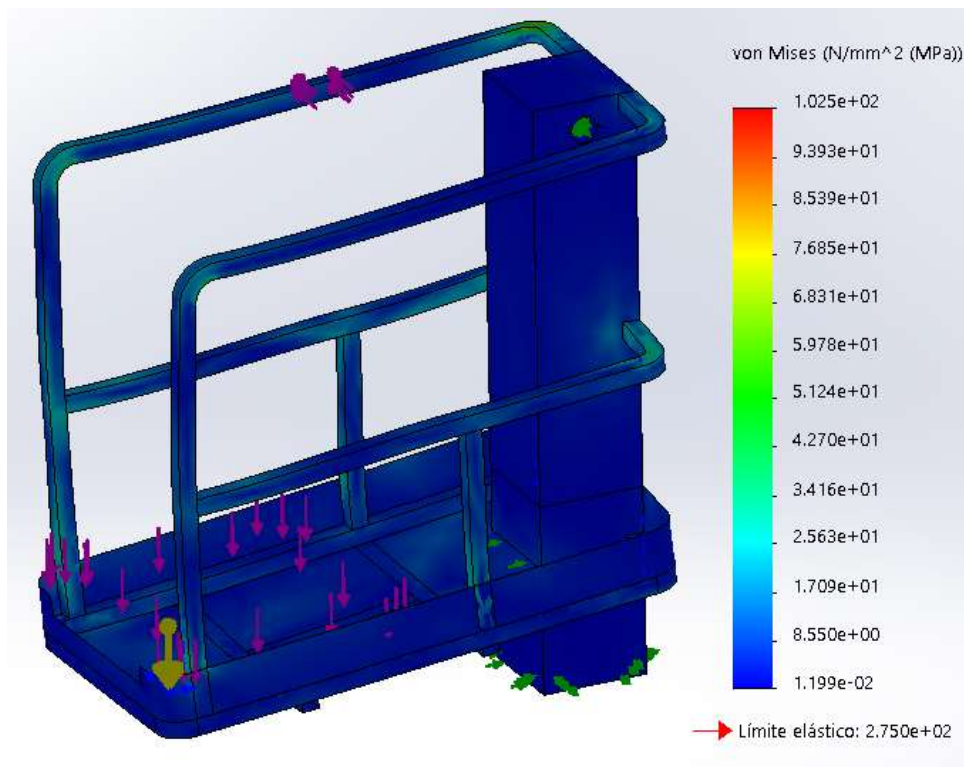


Imagen 56: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)

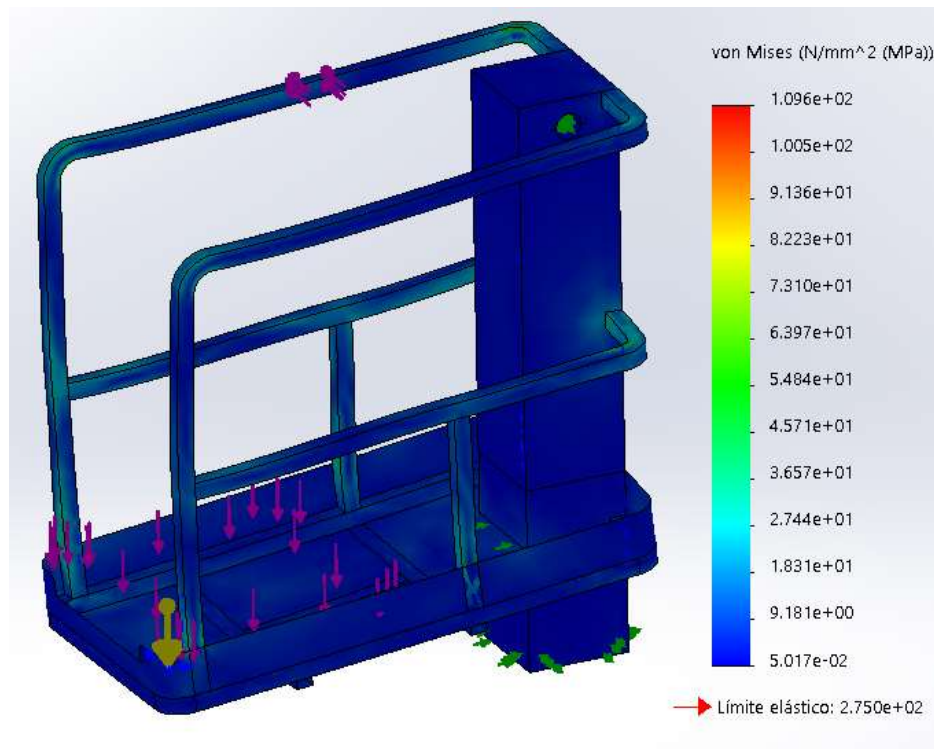
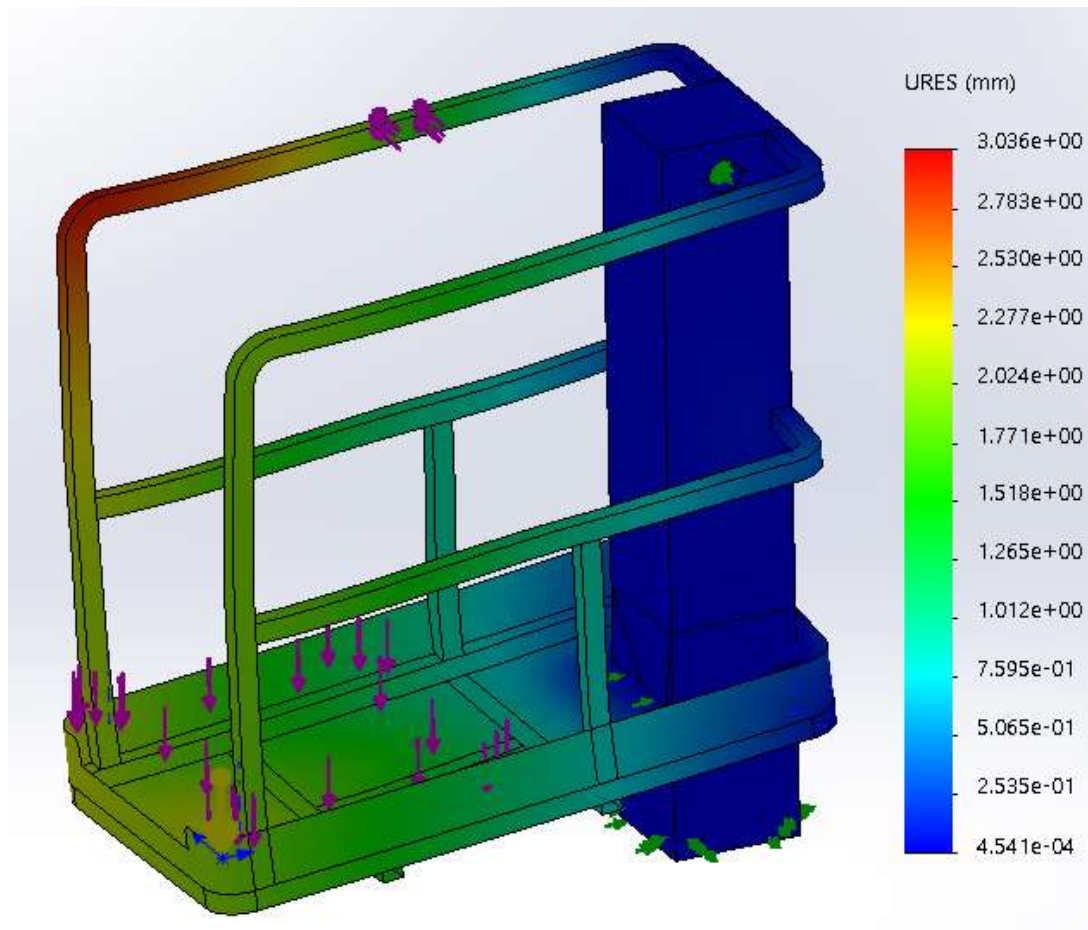


Imagen 57: tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)

#### 2.1.4. Análisis estático malla muy gruesa.



*Imagen 58: Desplazamiento (malla muy gruesa)*

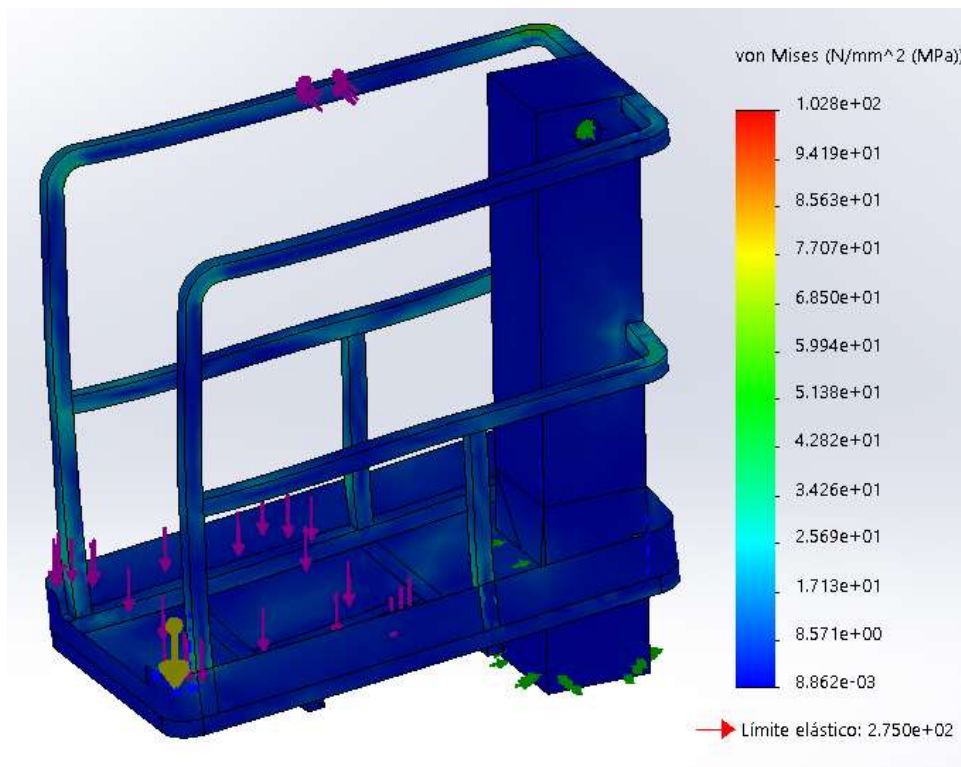


Imagen 59: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)

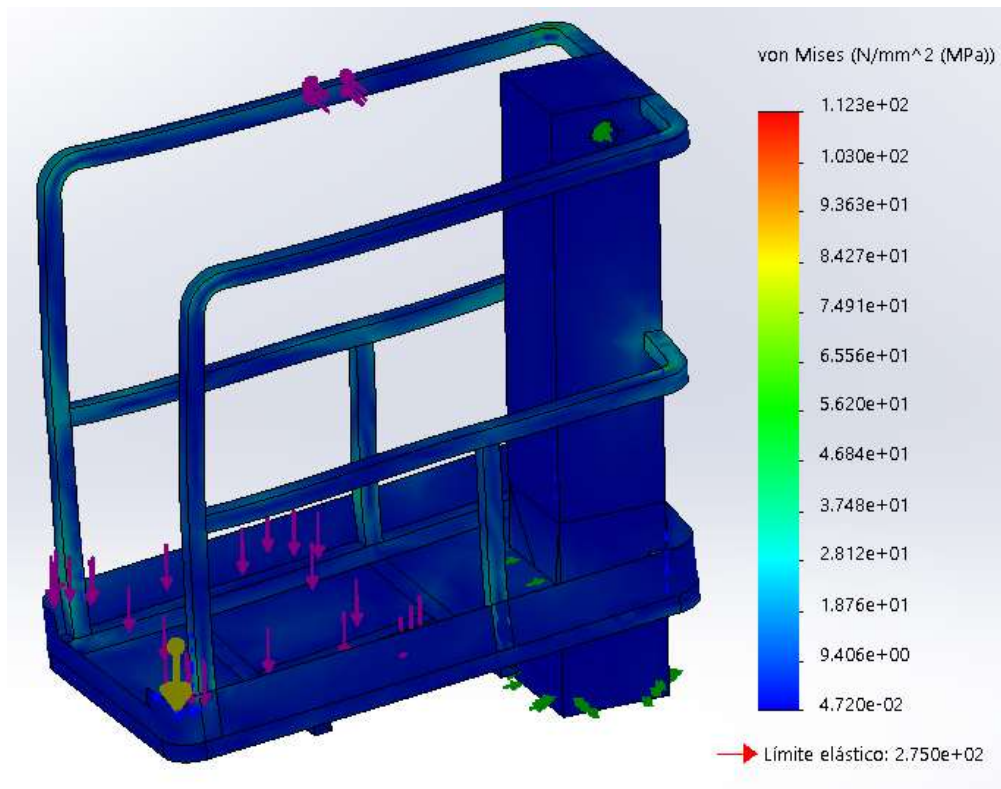
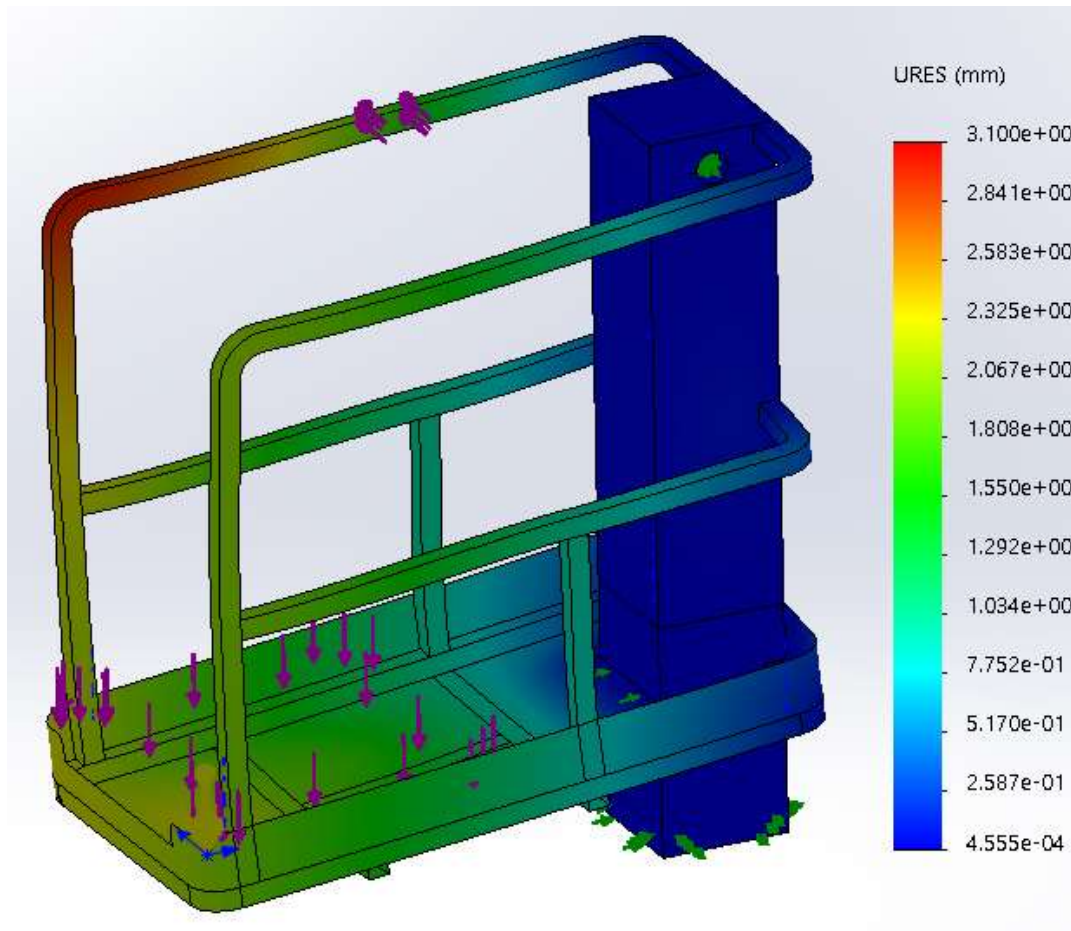


Imagen 60: Tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)



## 2.2. CONFIGURACIÓN MALLADO 3 (tamaño mínimo del elemento 15mm):

### 2.2.1. Análisis estático malla muy fina.



*Imagen 61: Desplazamiento (malla muy fina)*

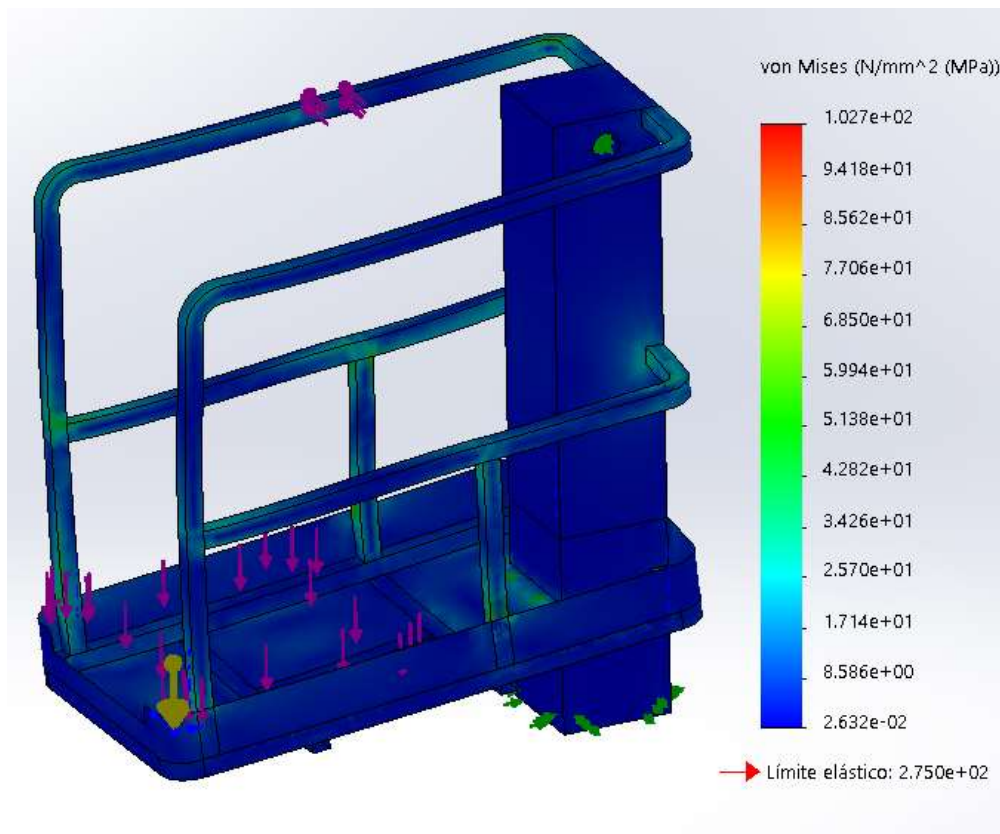


Imagen 62: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)

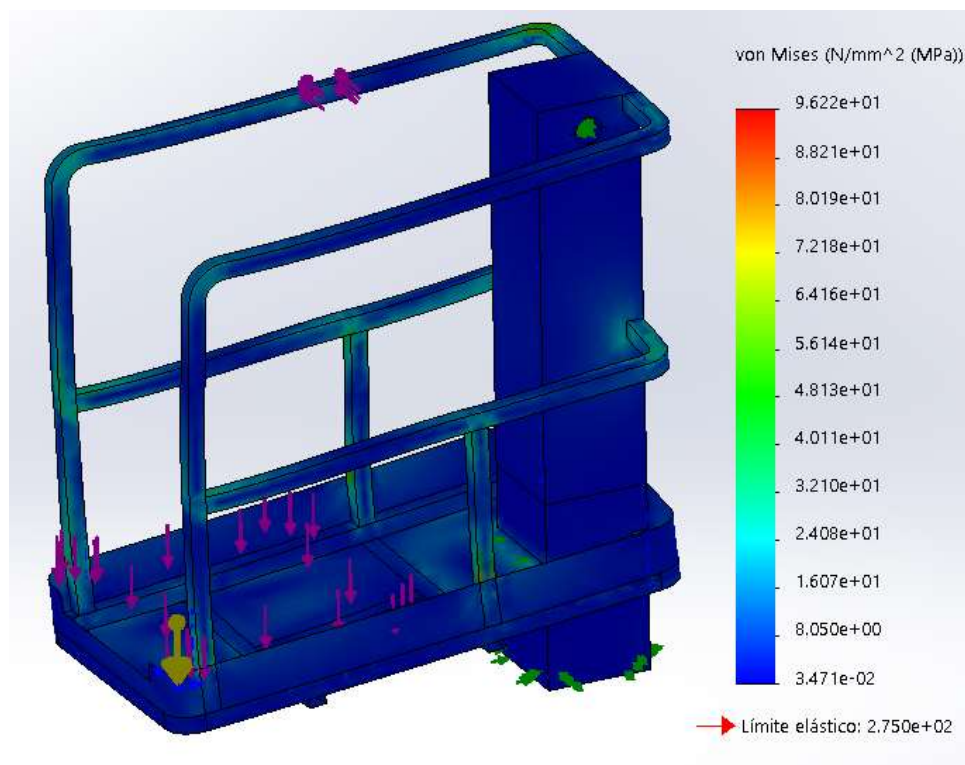


Imagen 63: tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)

### 2.2.2. Análisis estático malla fina.

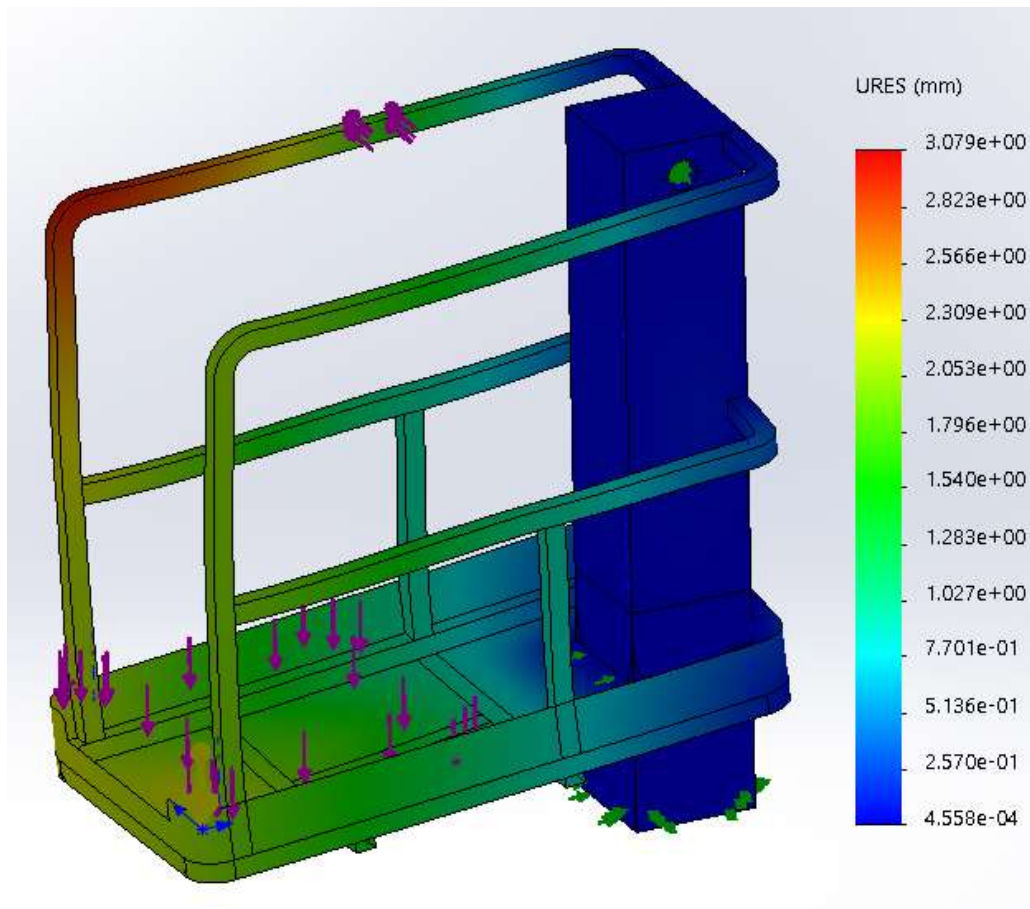


Imagen 64: Desplazamiento (malla fina)



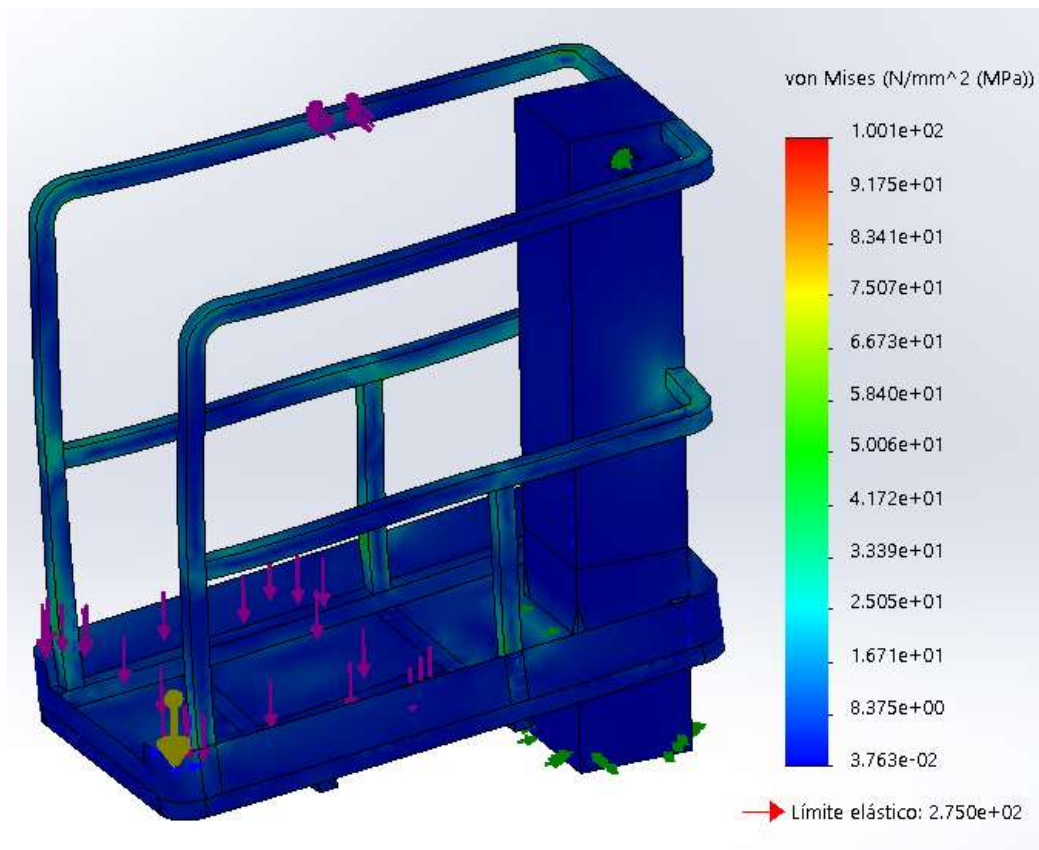


Imagen 65: Tensión cara superior del elemento (malla fina)

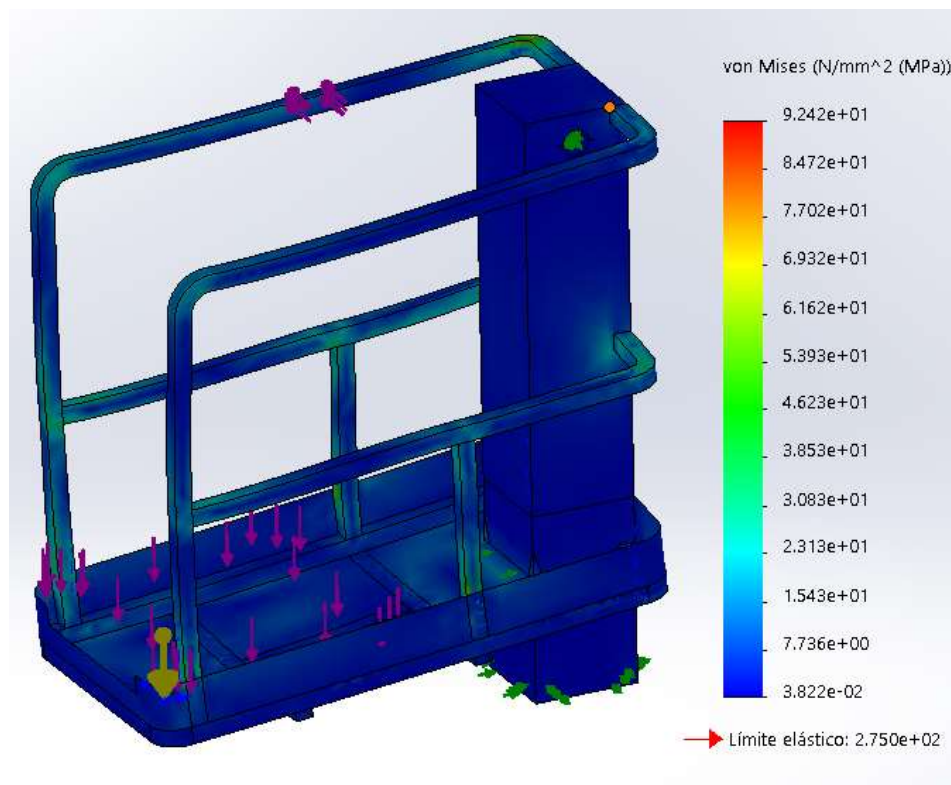
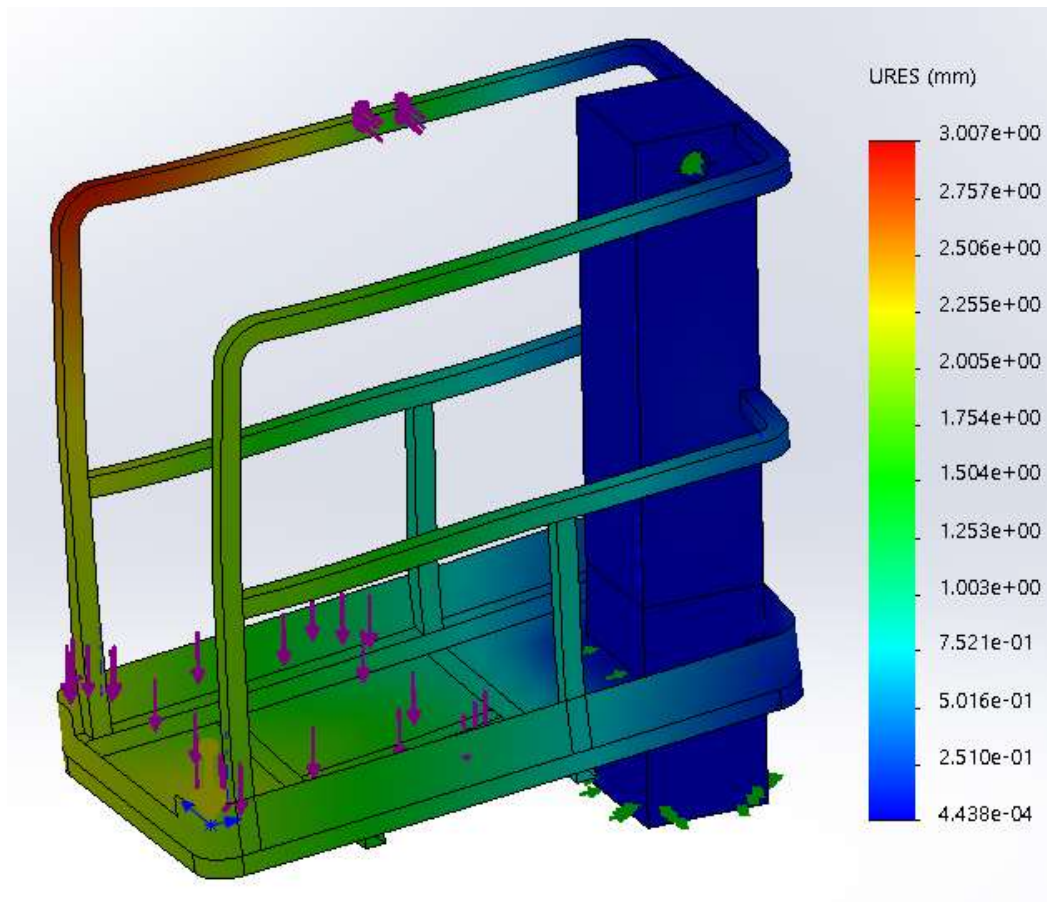


Imagen 66: tensión cara inferior del elemento (malla fina)

### 2.2.3. Análisis estático malla gruesa.



*Imagen 67: Desplazamiento (malla gruesa)*

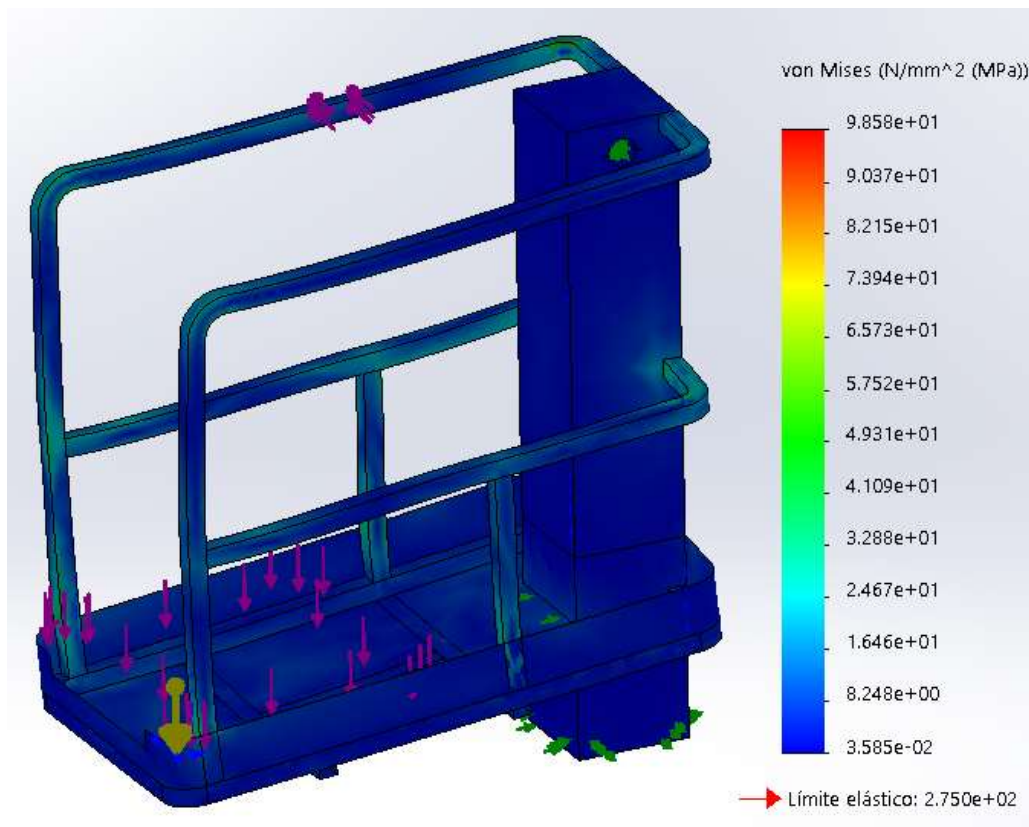


Imagen 68: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)

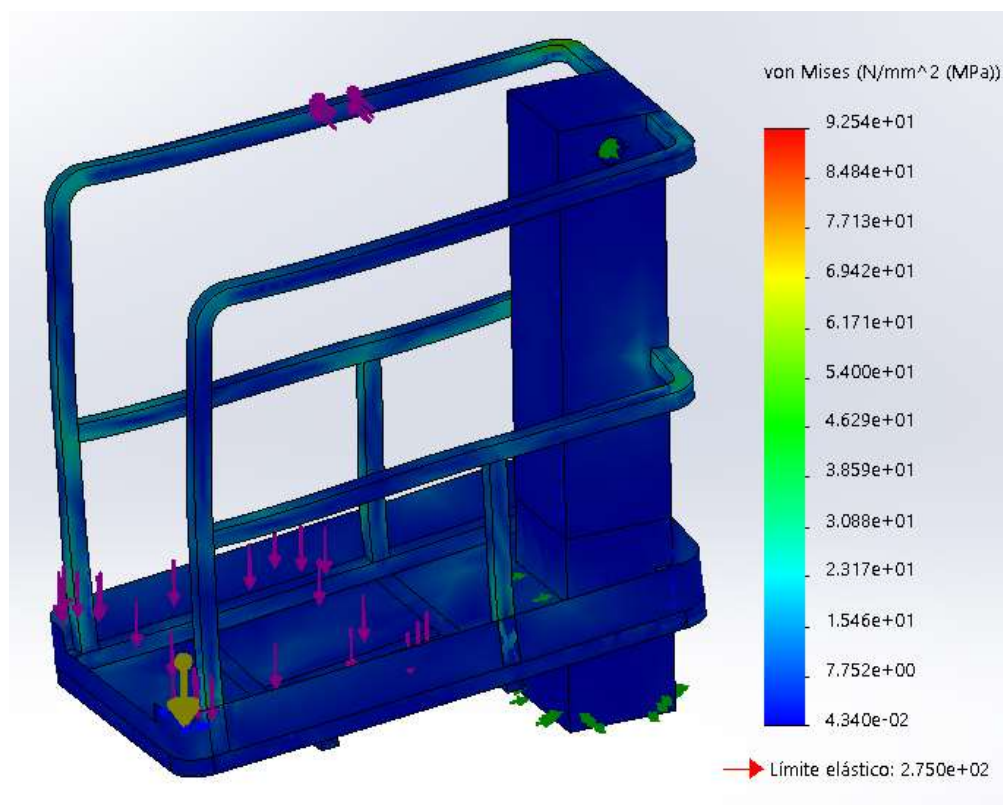
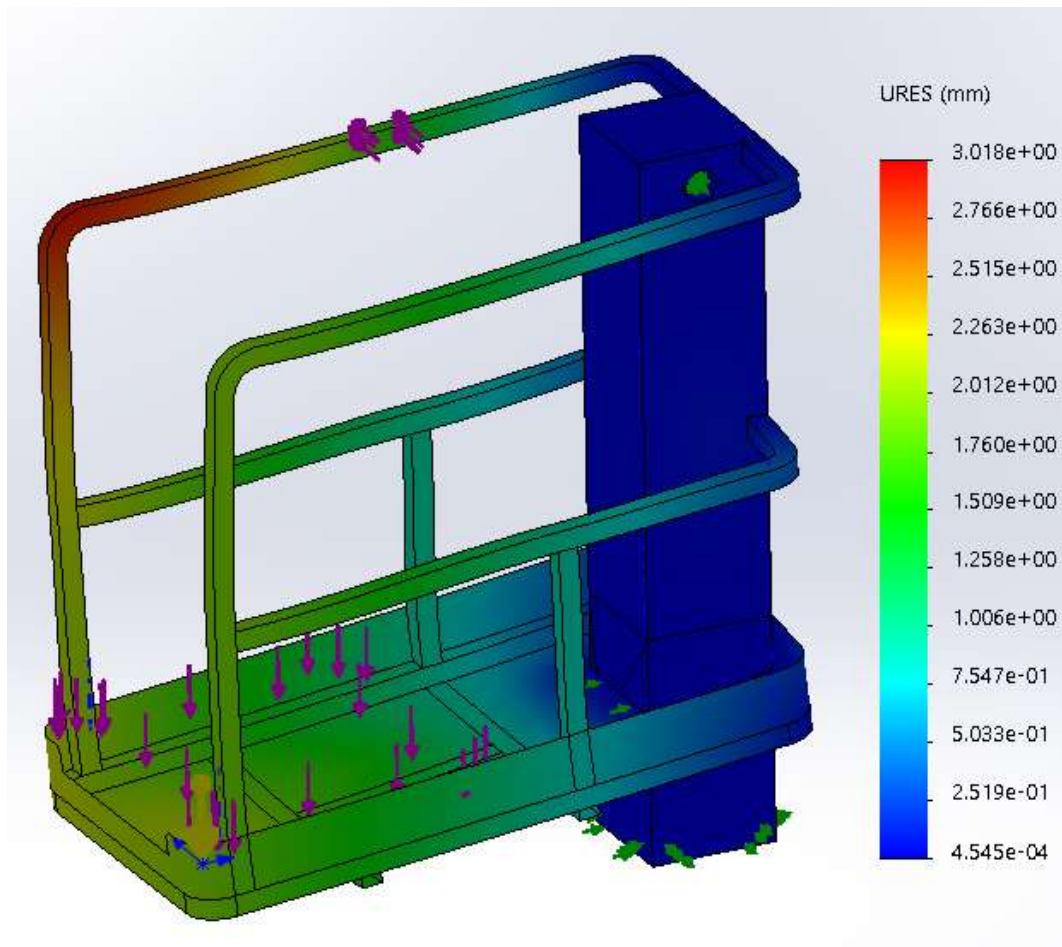


Imagen 69: tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)

#### 2.2.4. Análisis estático malla muy gruesa.



*Imagen 70: Desplazamiento (malla muy gruesa)*



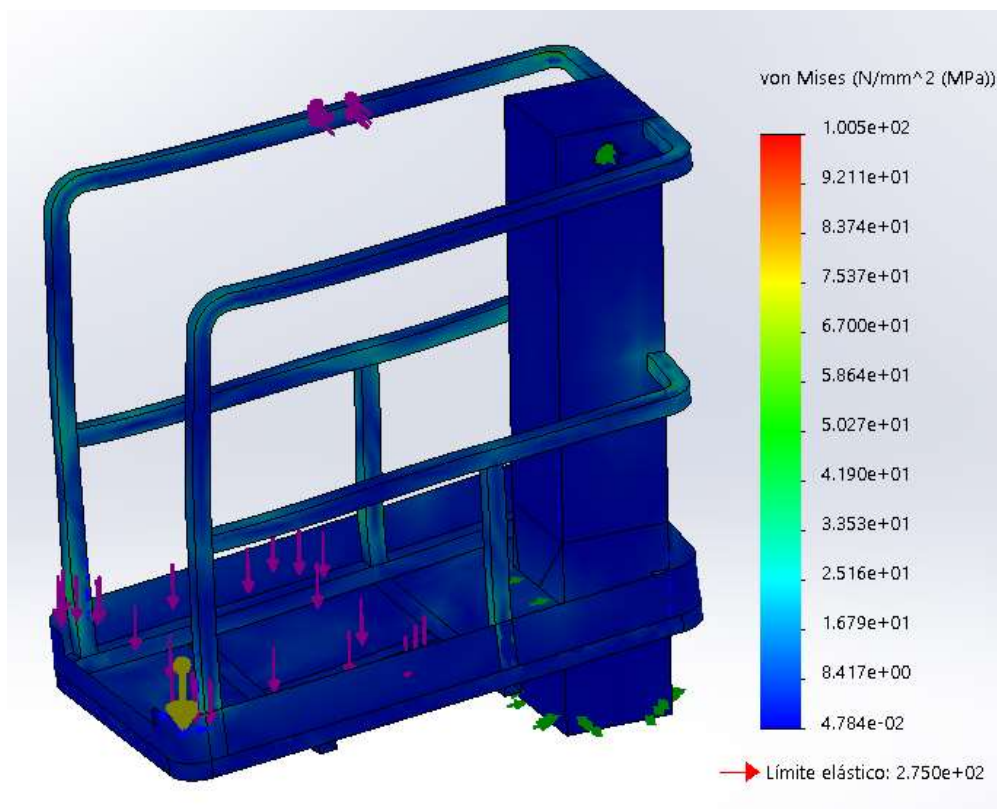


Imagen 71: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)

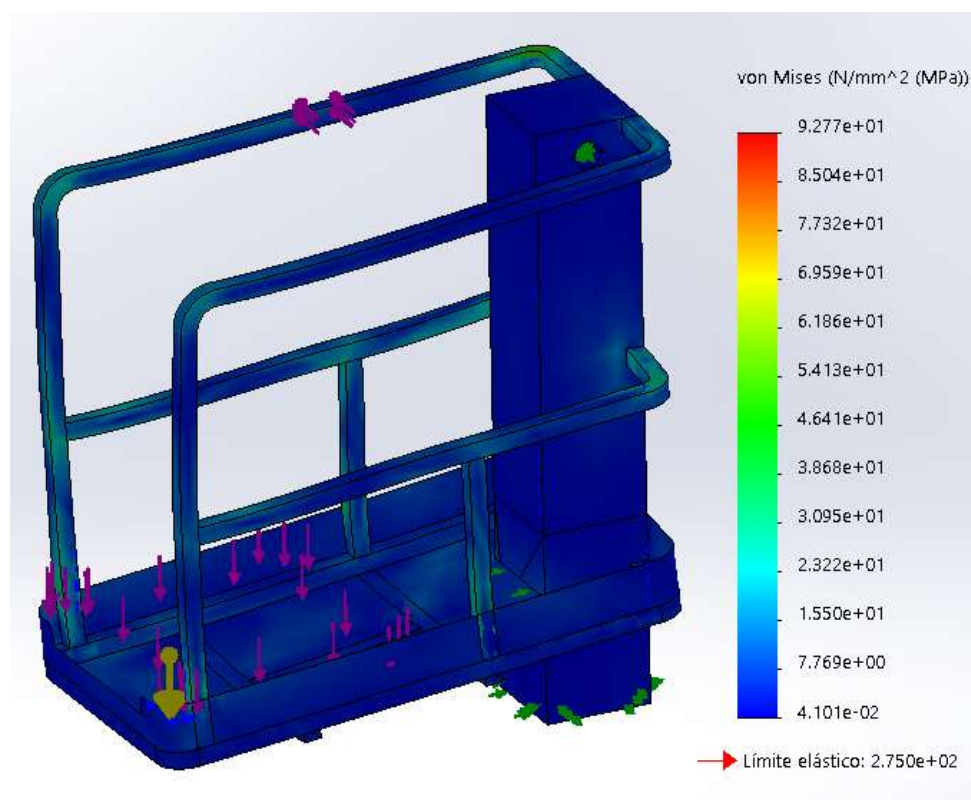
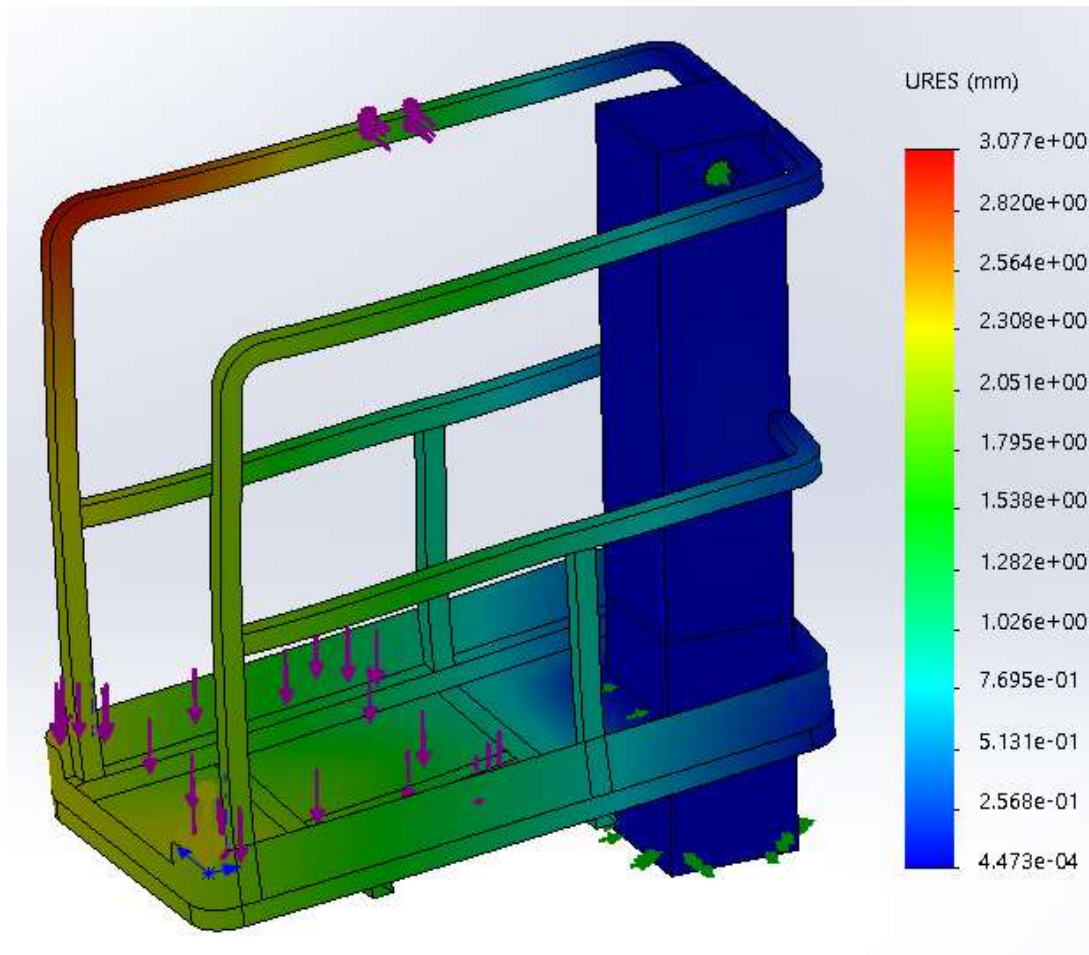


Imagen 72: tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)

### 2.3. CONFIGURACIÓN MALLADO 4 (tamaño mínimo del elemento 20mm):

#### 2.3.1. Análisis estático malla muy fina.



*Imagen 73: Desplazamiento (malla muy fina)*

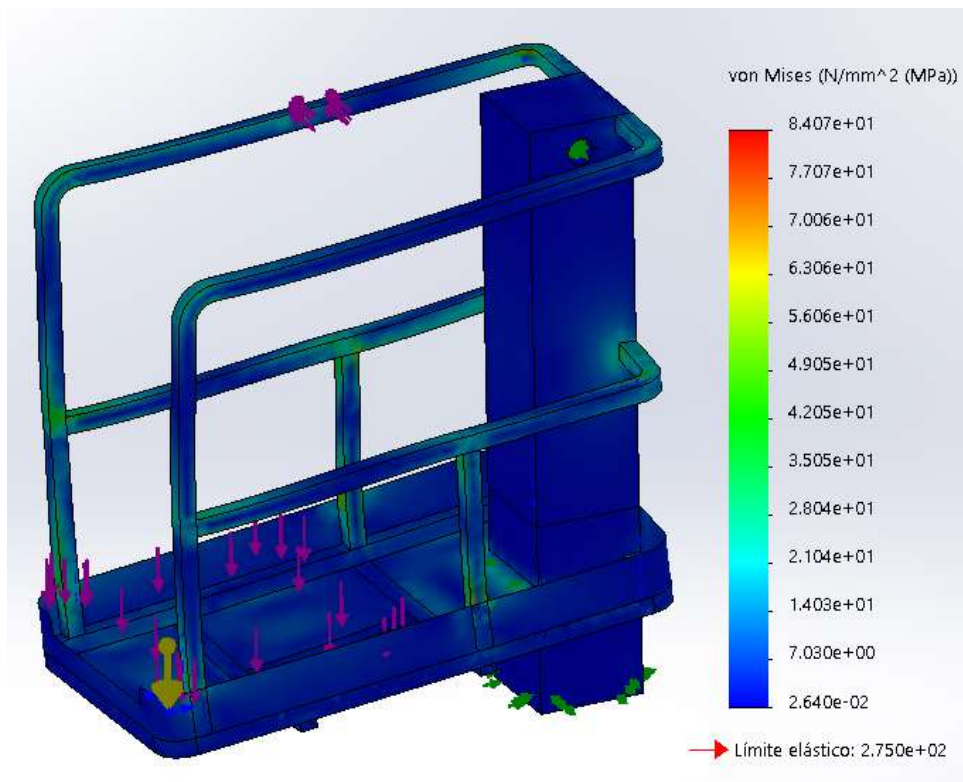


Imagen 74: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)

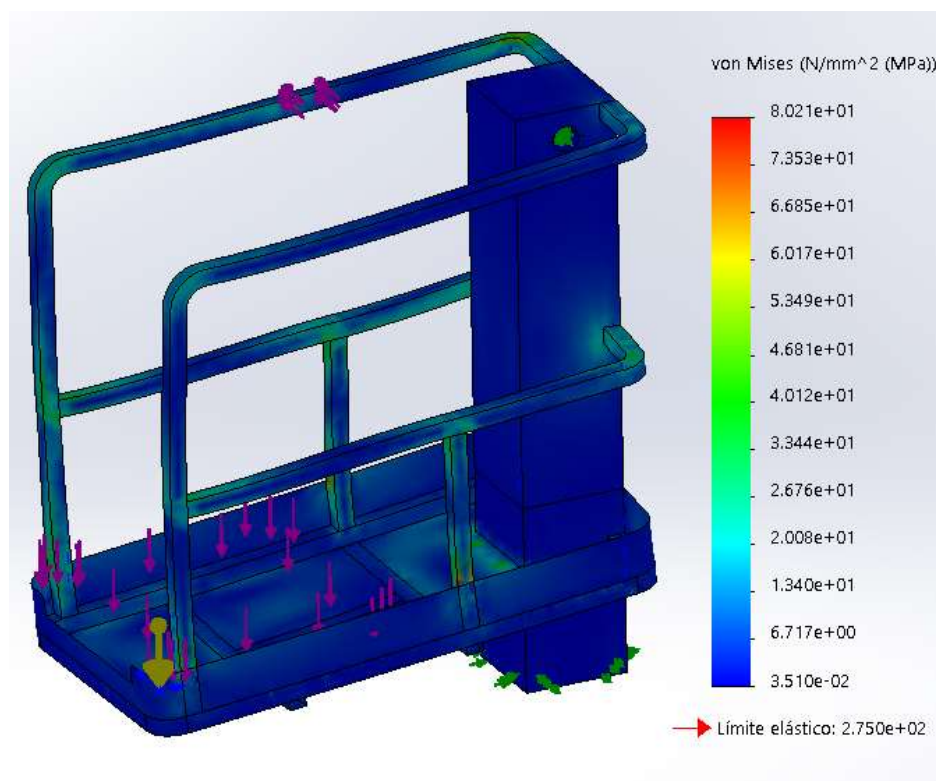
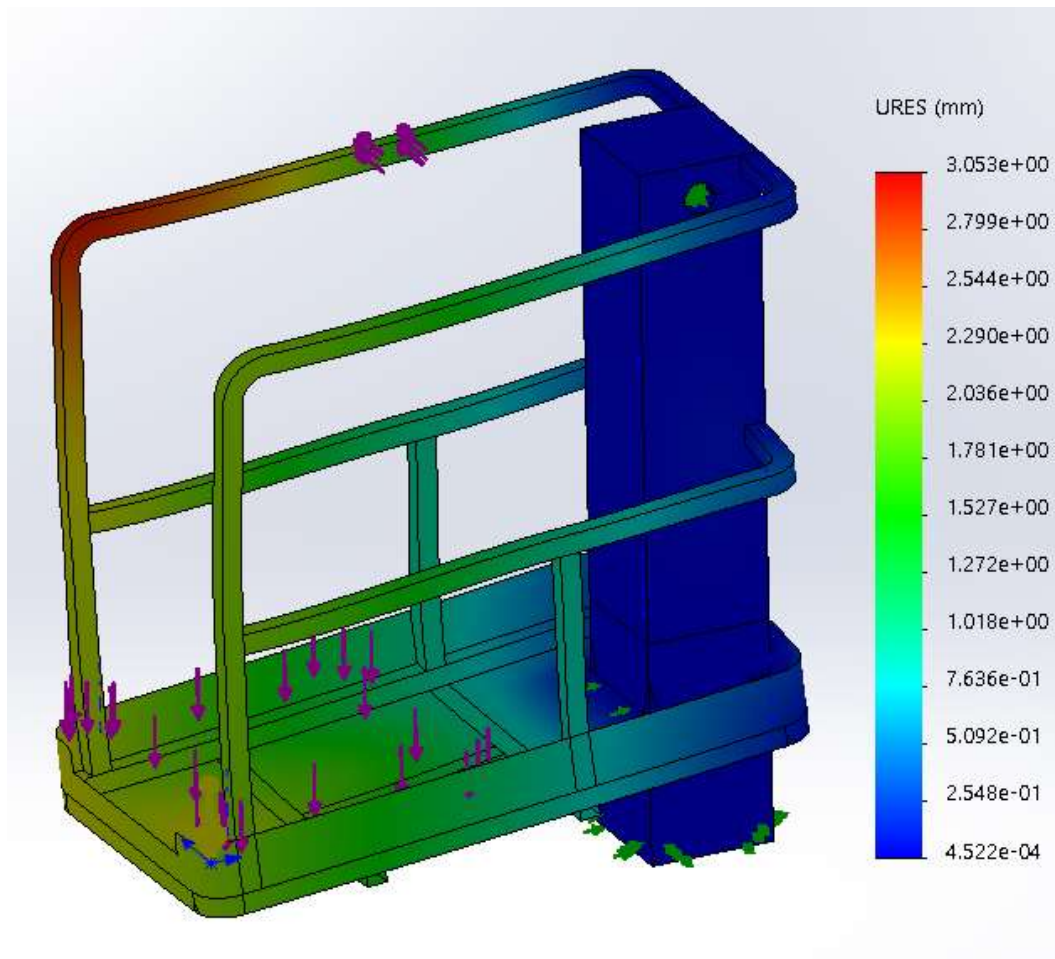


Imagen 75: tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)



### 2.3.2. Análisis estático malla fina.



*Imagen 76: Desplazamiento (malla fina)*

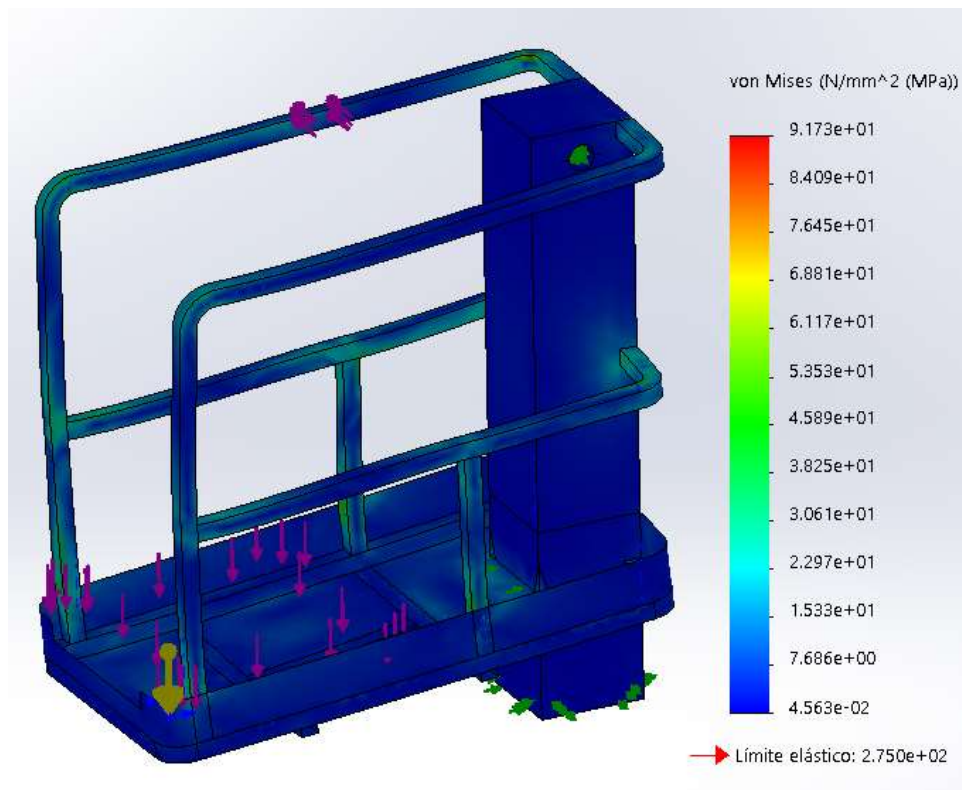


Imagen 77: Tensión cara superior del elemento (malla fina)

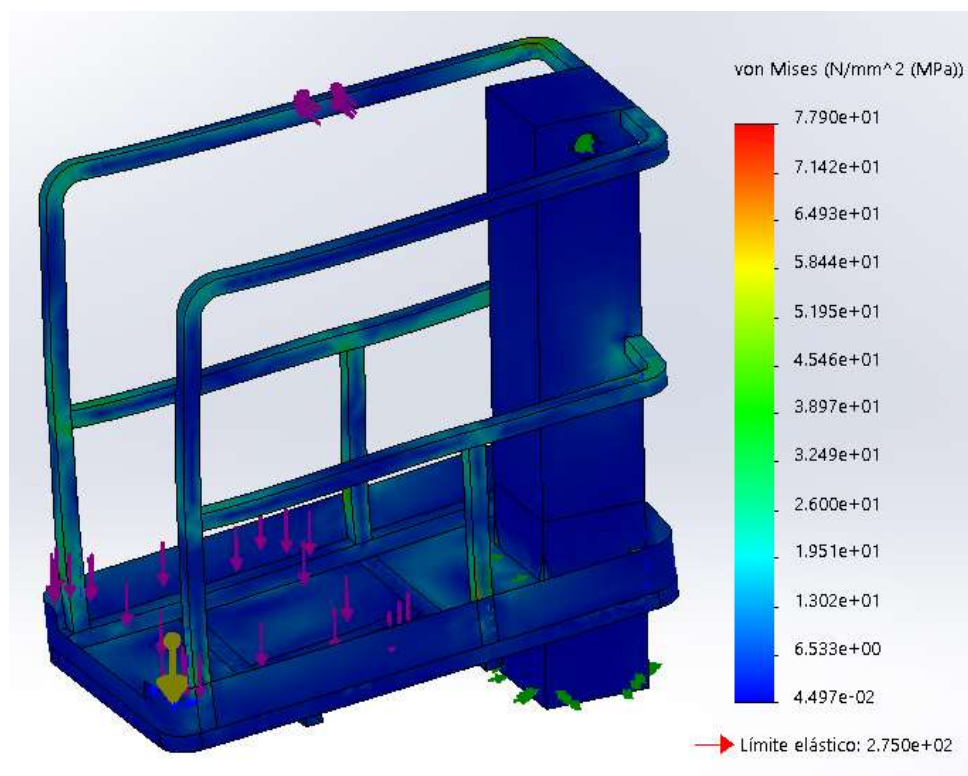
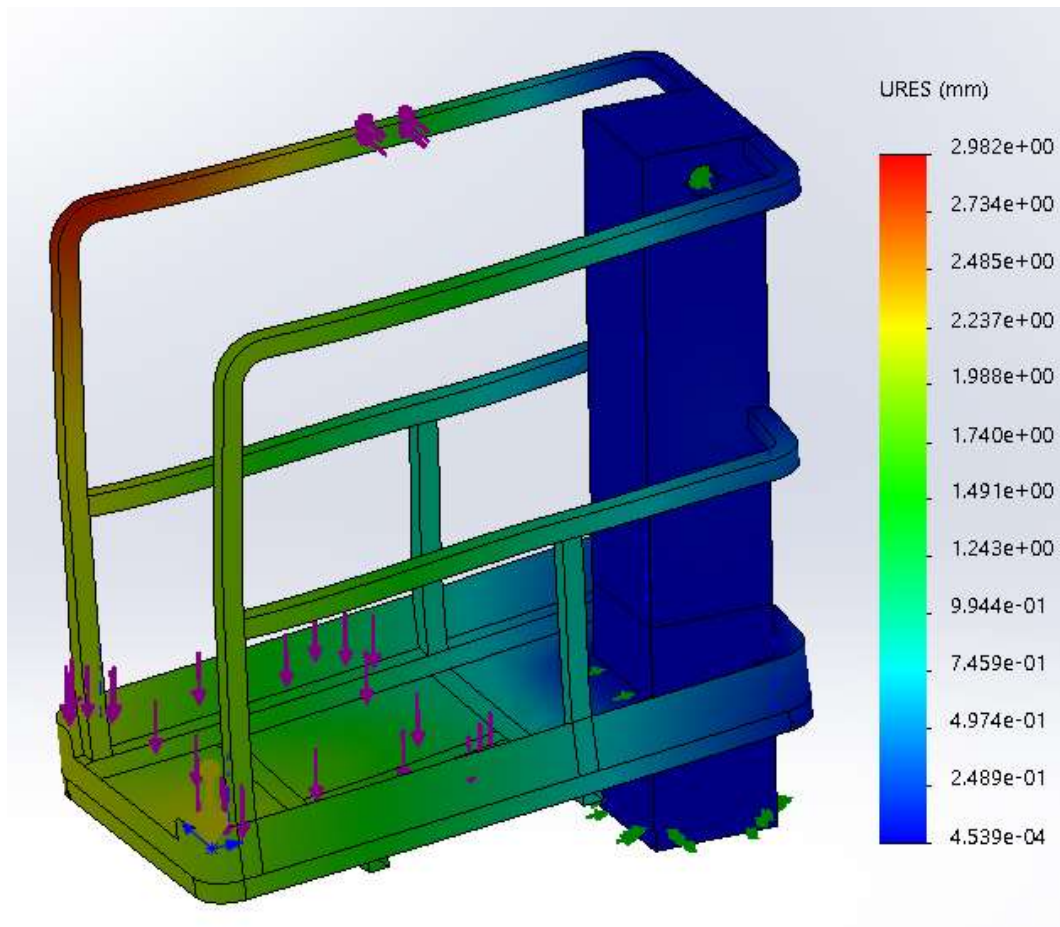


Imagen 78: tensión cara inferior del elemento (malla fina)

### 2.3.3. Análisis estático malla gruesa.



*Imagen 79: Desplazamiento (malla gruesa)*

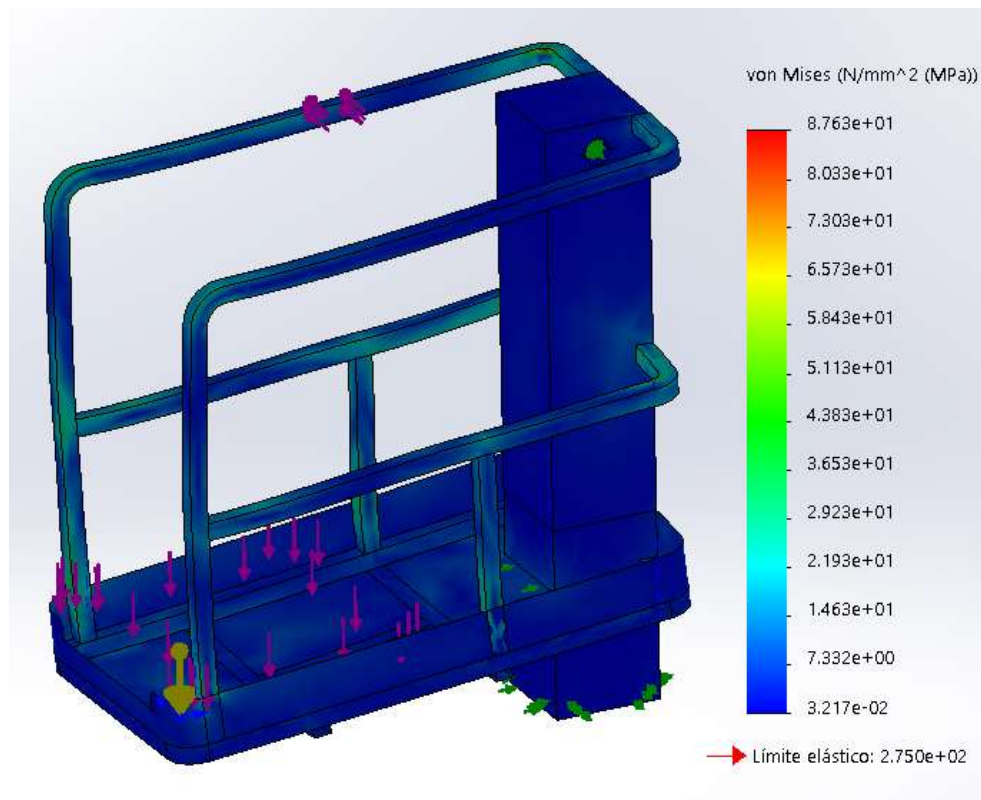


Imagen 80: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)

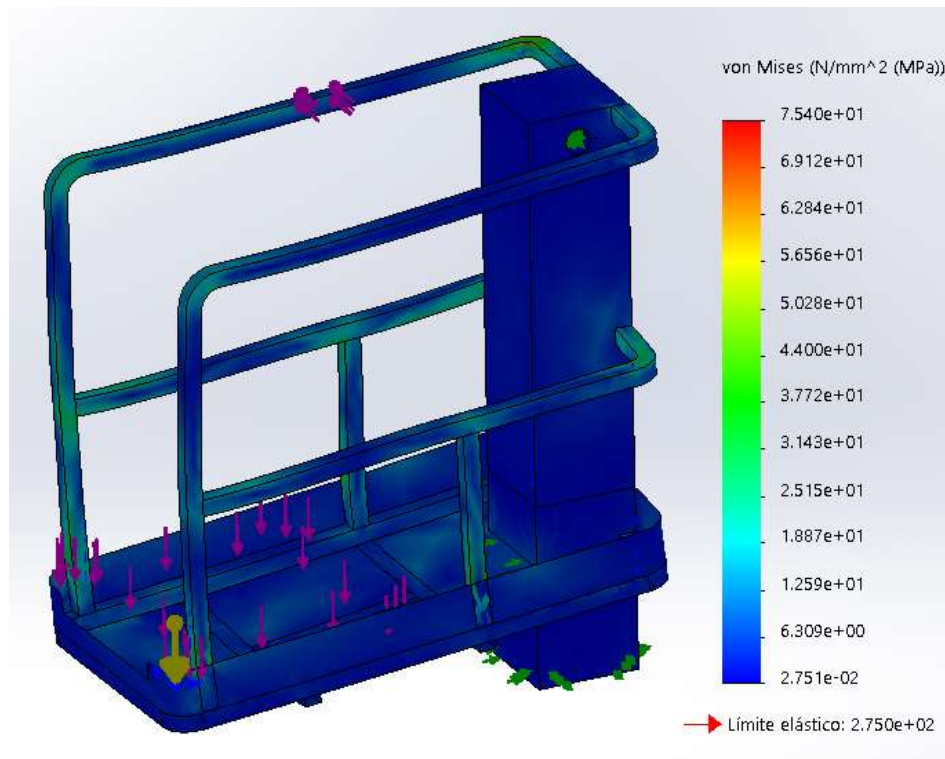
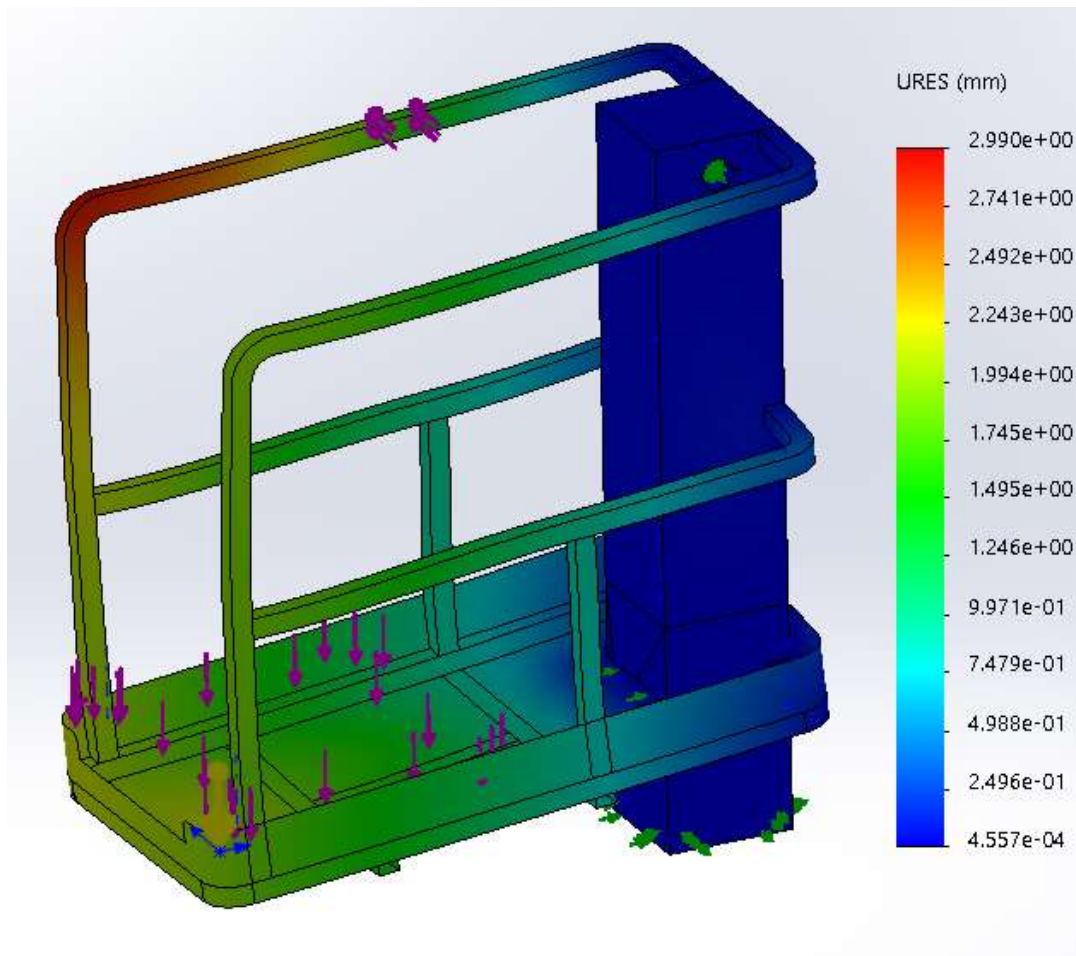


Imagen 81: tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)



#### 2.3.4. Análisis estático malla muy gruesa.



*Imagen 82: Desplazamiento (malla muy gruesa)*

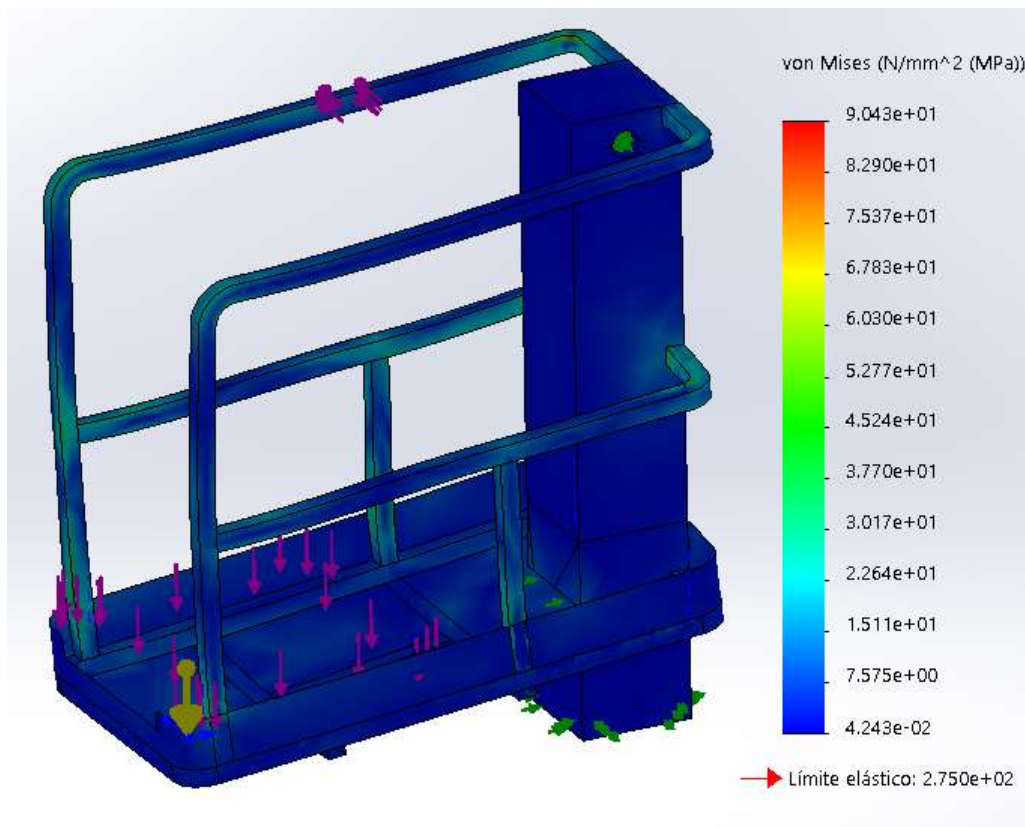


Imagen 83: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)

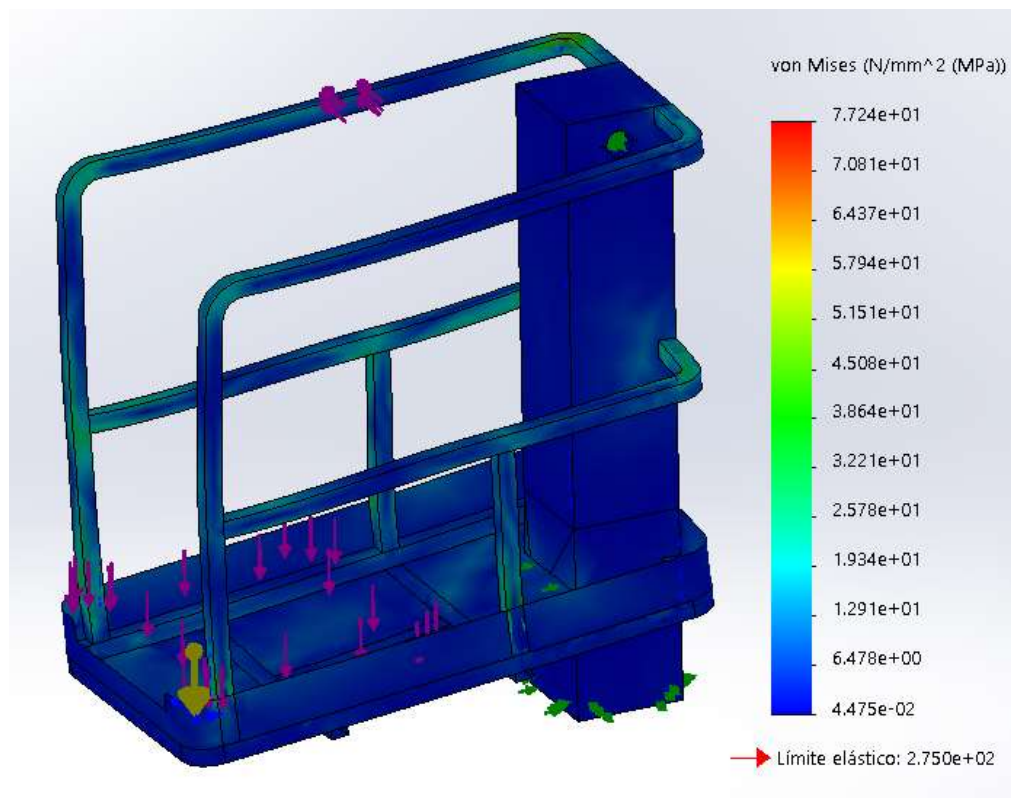
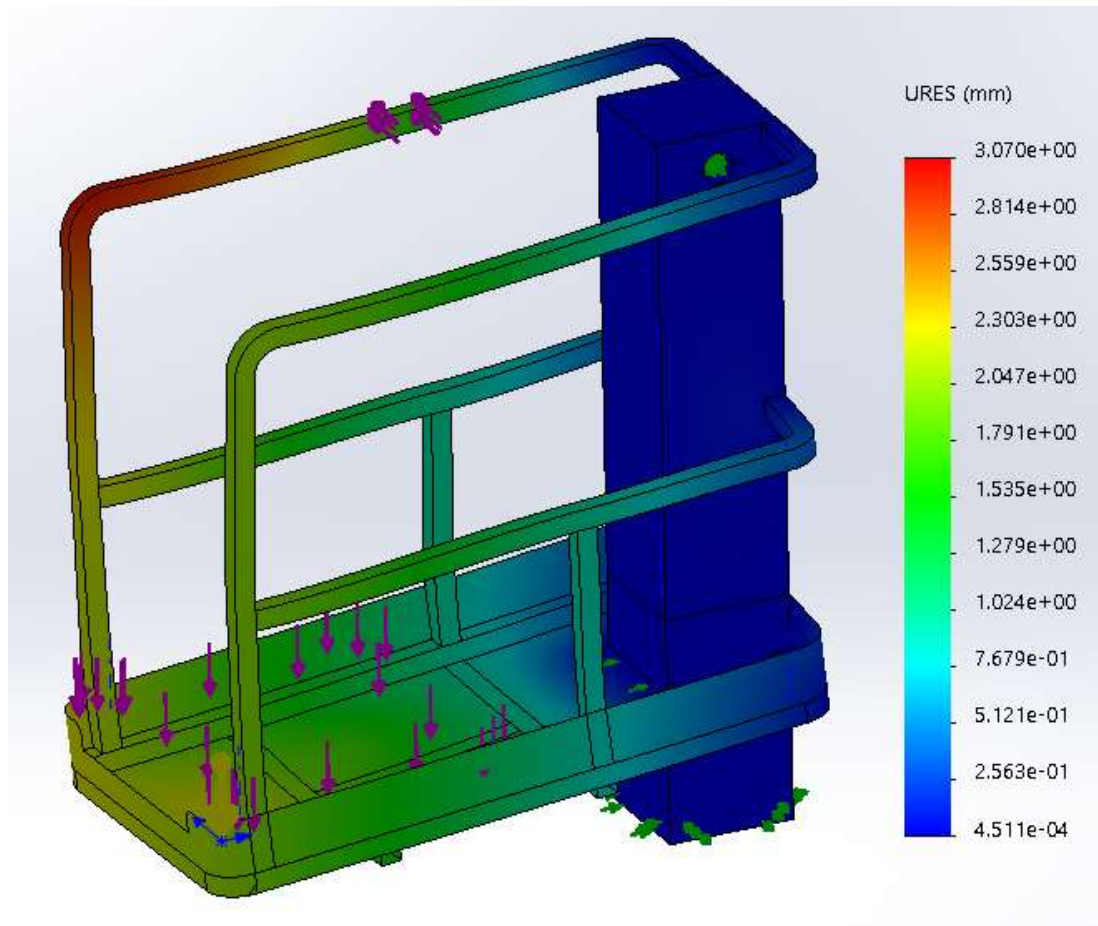


Imagen 84: tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)

## 2.4. CONFIGURACIÓN MALLADO 5 (tamaño mínimo del elemento 25mm):

### 2.4.1. Análisis estático malla muy fina.



*Imagen 85: Desplazamiento (malla muy fina)*



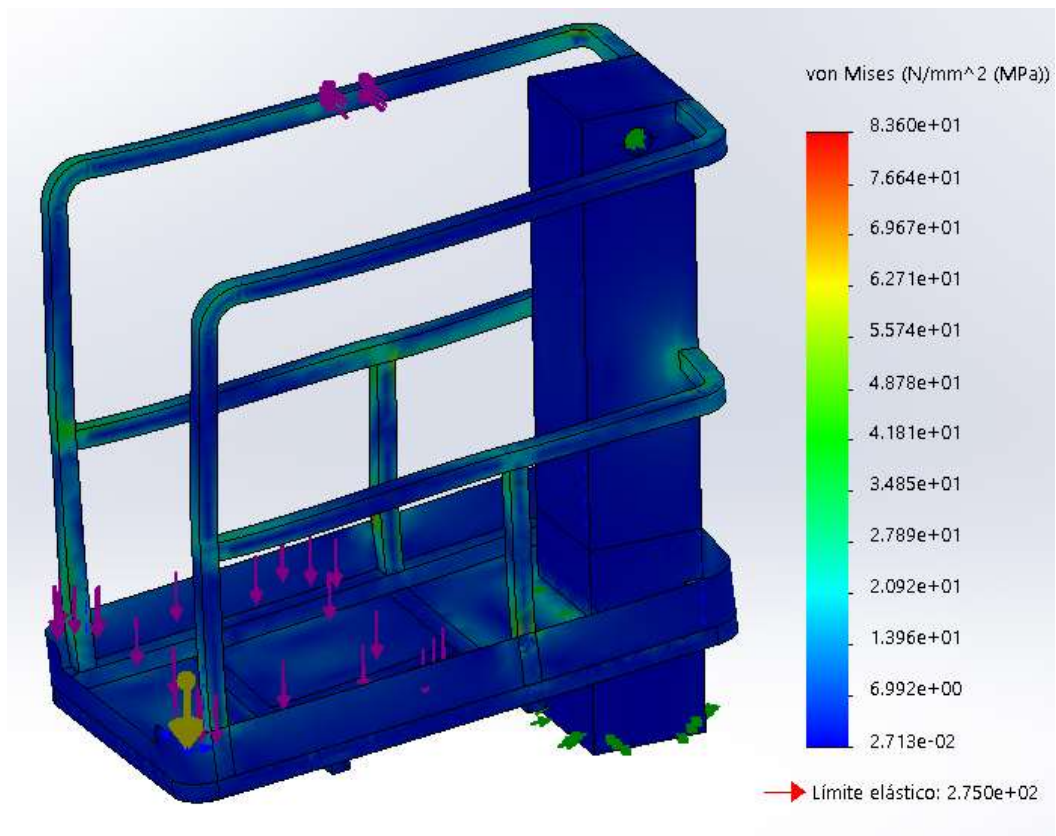


Imagen 86: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)

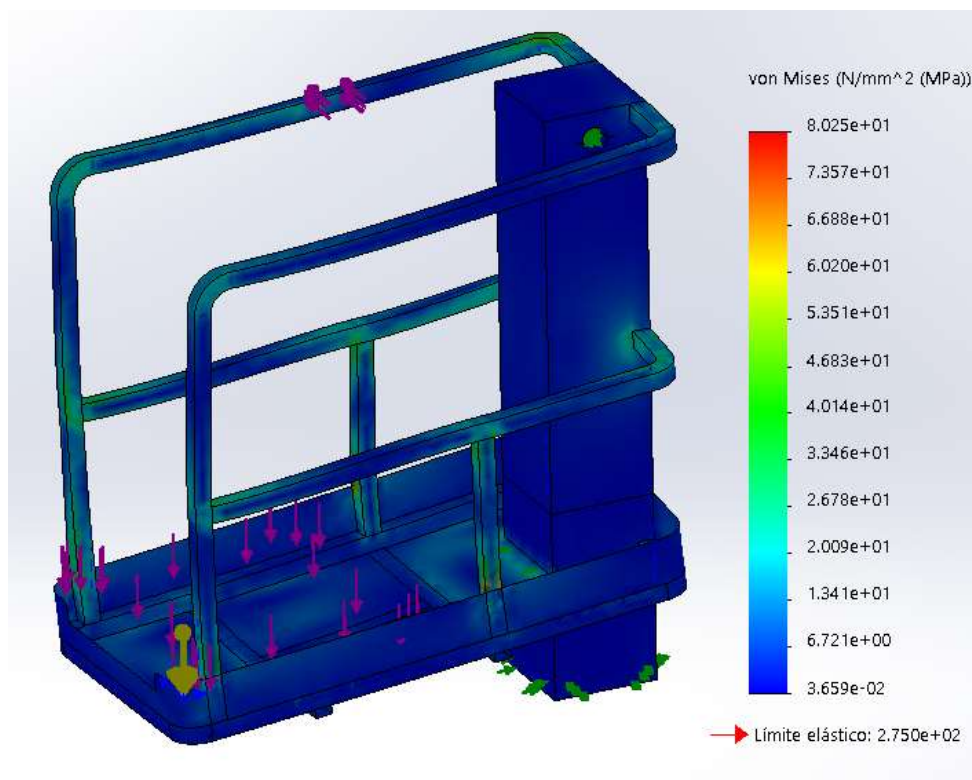
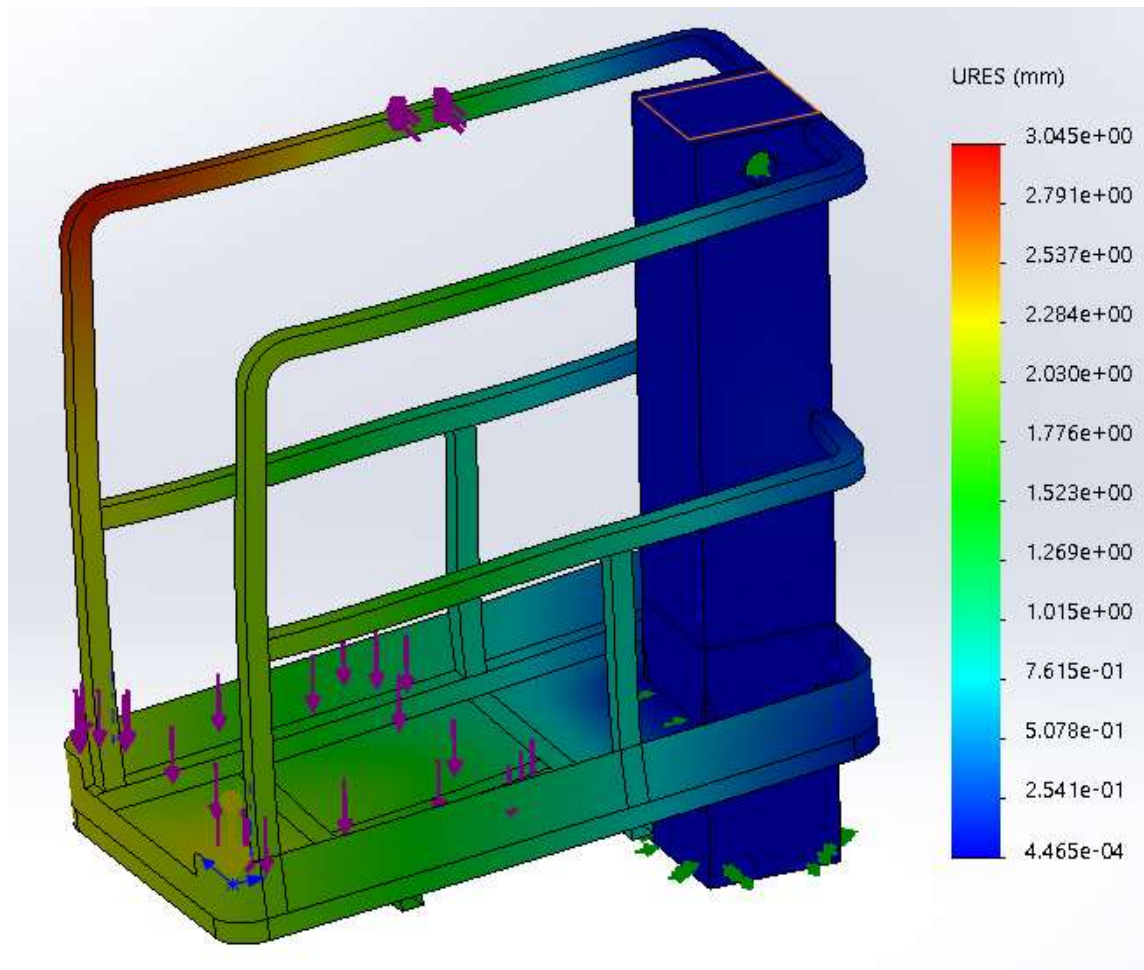


Imagen 87: tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)

#### 2.4.2. Análisis estático malla fina.



*Imagen 88: Desplazamiento (malla fina)*

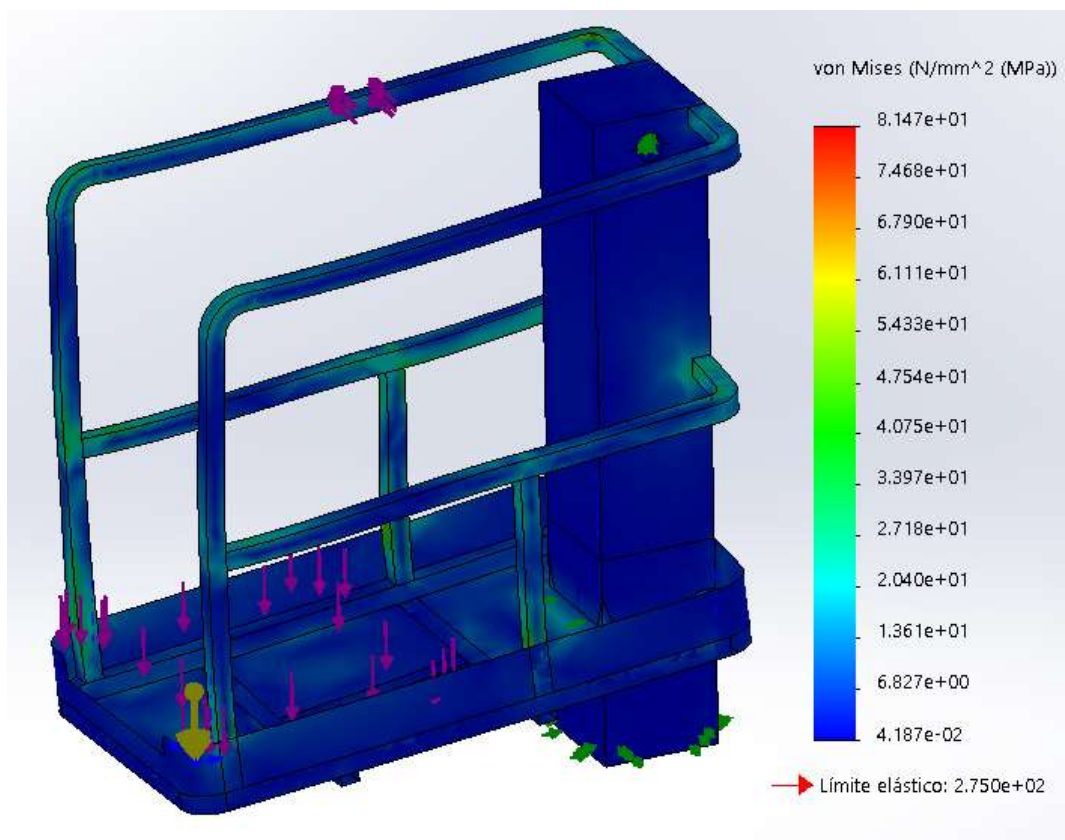


Imagen 89: Tensión cara superior del elemento (malla fina)

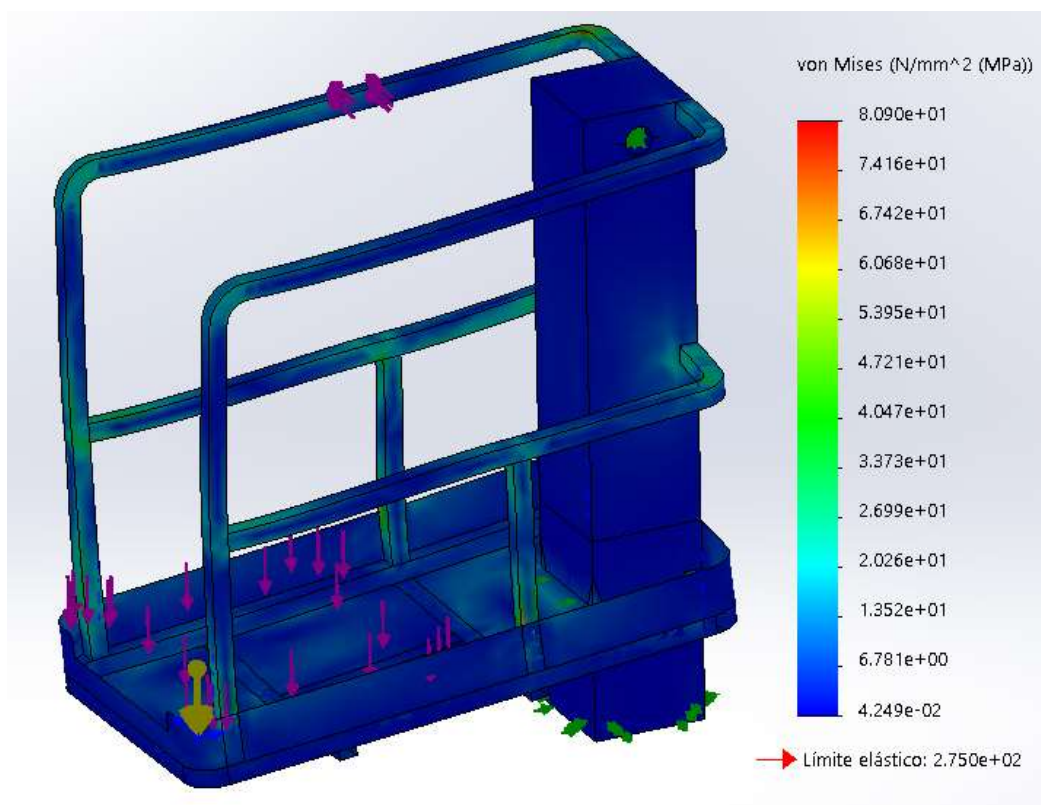
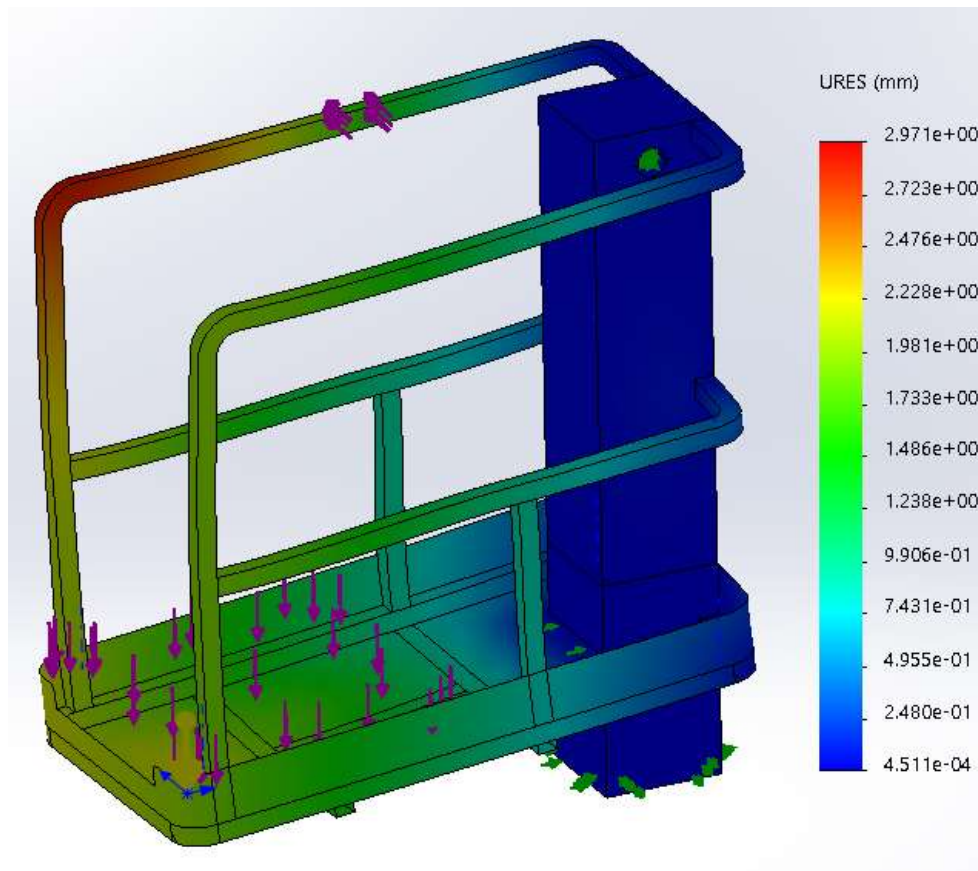


Imagen 90: tensión cara inferior del elemento (malla fina)

### 2.4.3. Análisis estático malla gruesa.



*Imagen 91: Desplazamiento (malla gruesa)*



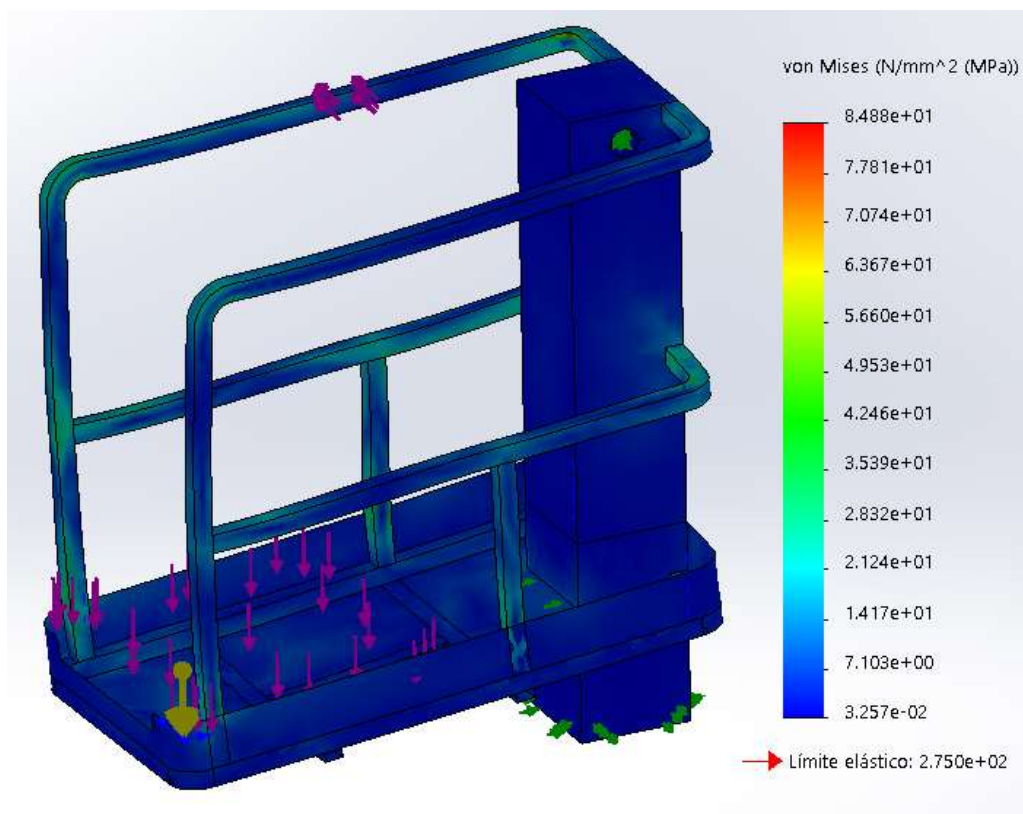


Imagen 92: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)

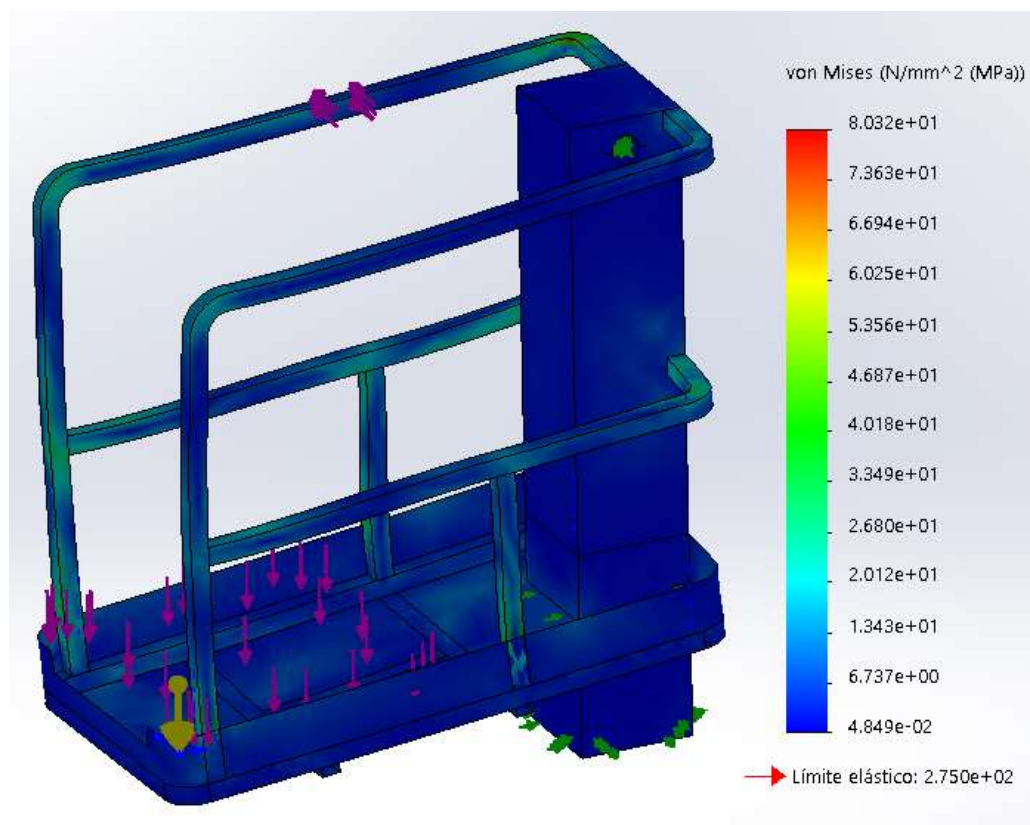
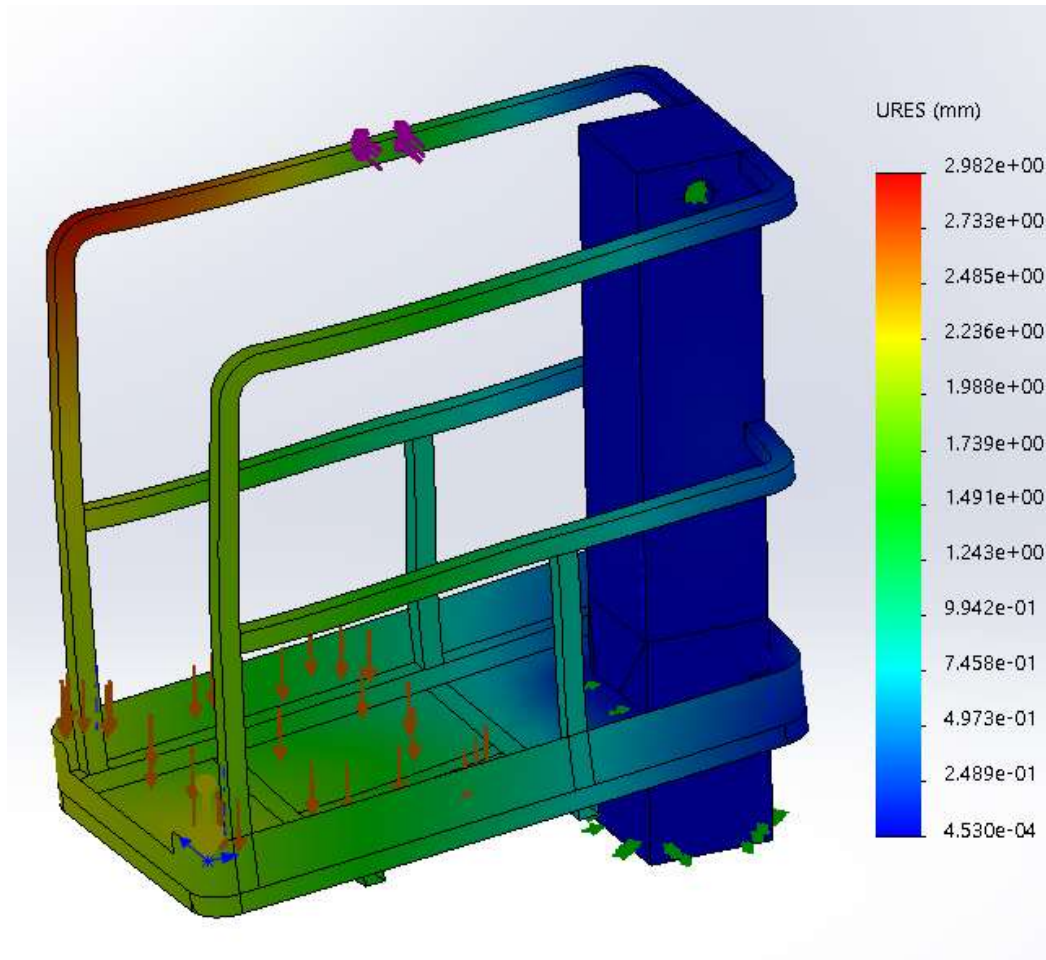


Imagen 93: tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)

#### 2.4.4. Análisis estático malla muy gruesa.



*Imagen 94: Desplazamiento (malla muy gruesa)*



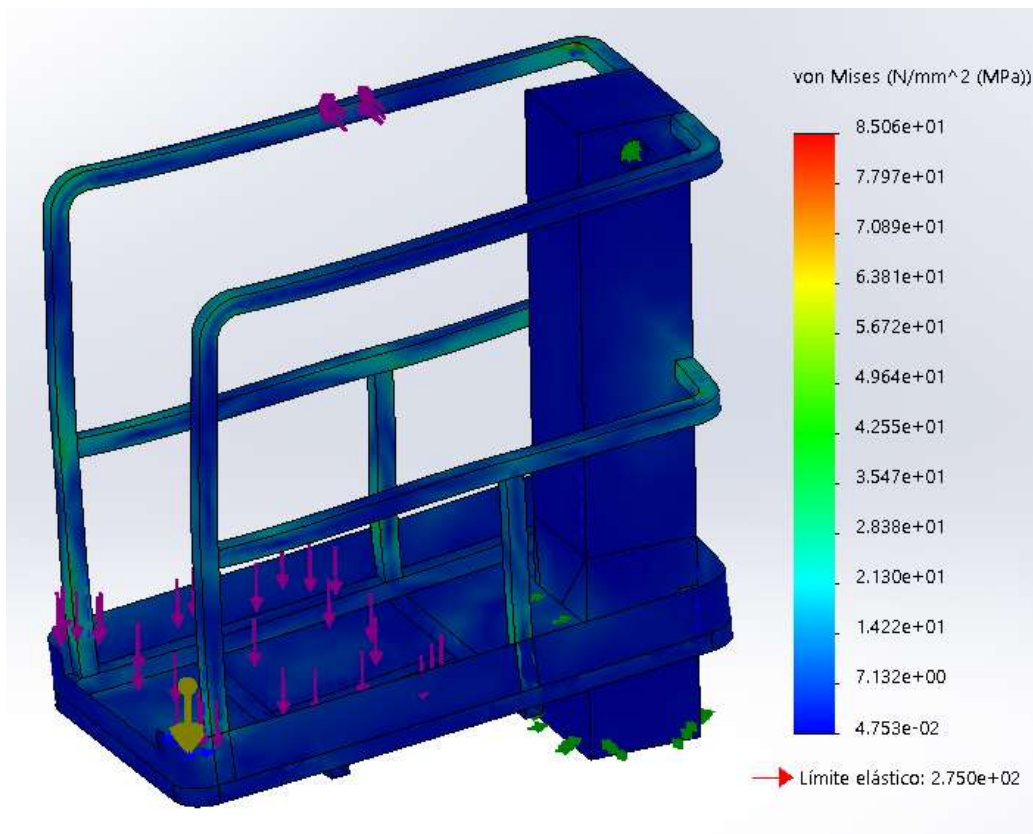


Imagen 95: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)

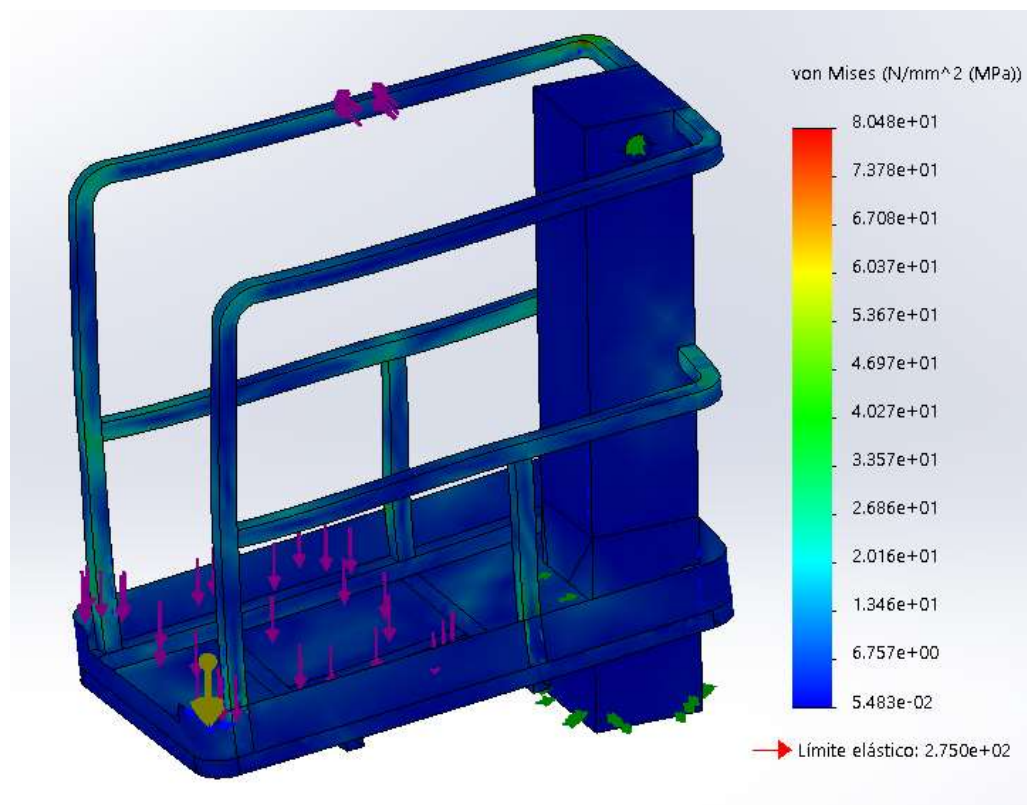
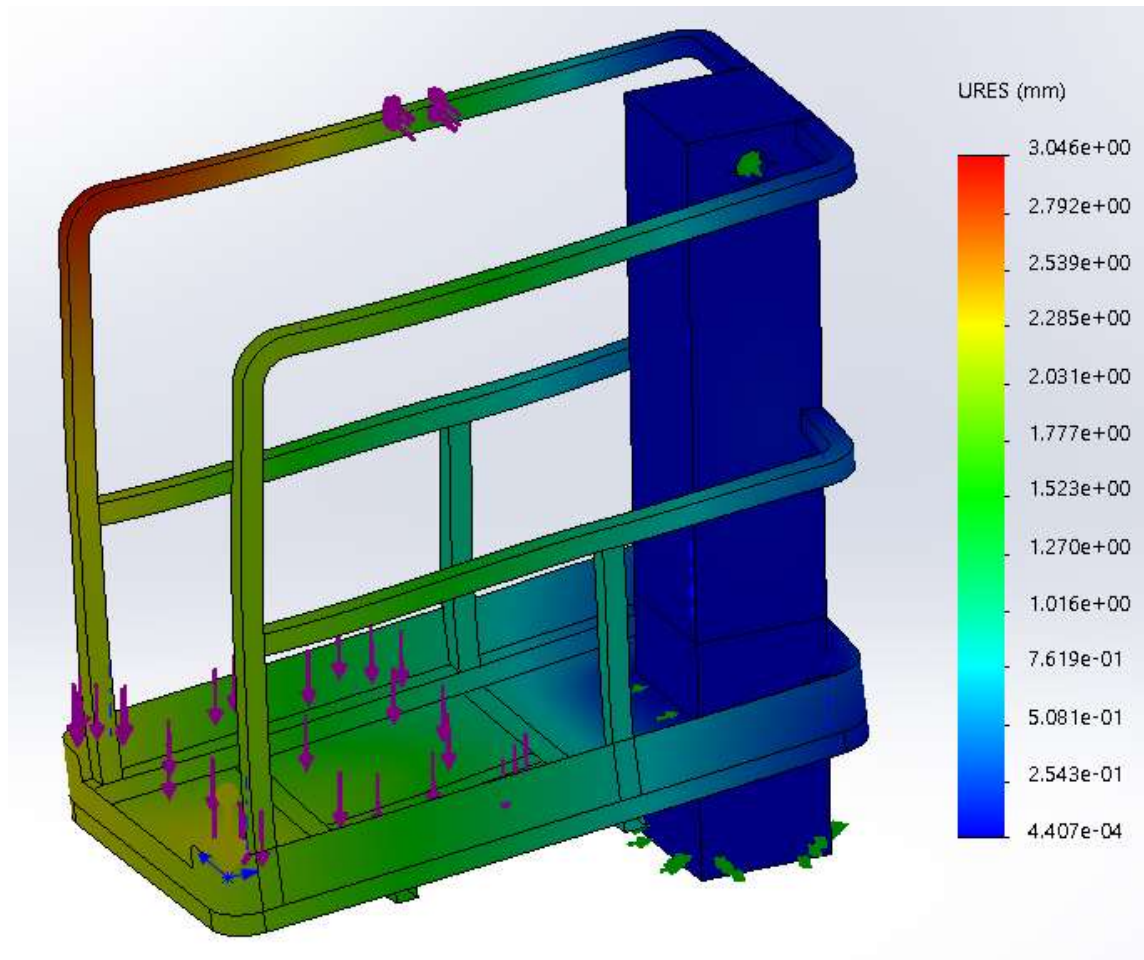


Imagen 96: tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)

2.5. CONFIGURACIÓN MALLADO 6 (tamaño mínimo del elemento 30mm):

2.5.1. Análisis estático malla muy fina.



*Imagen 97: Desplazamiento (malla muy fina)*

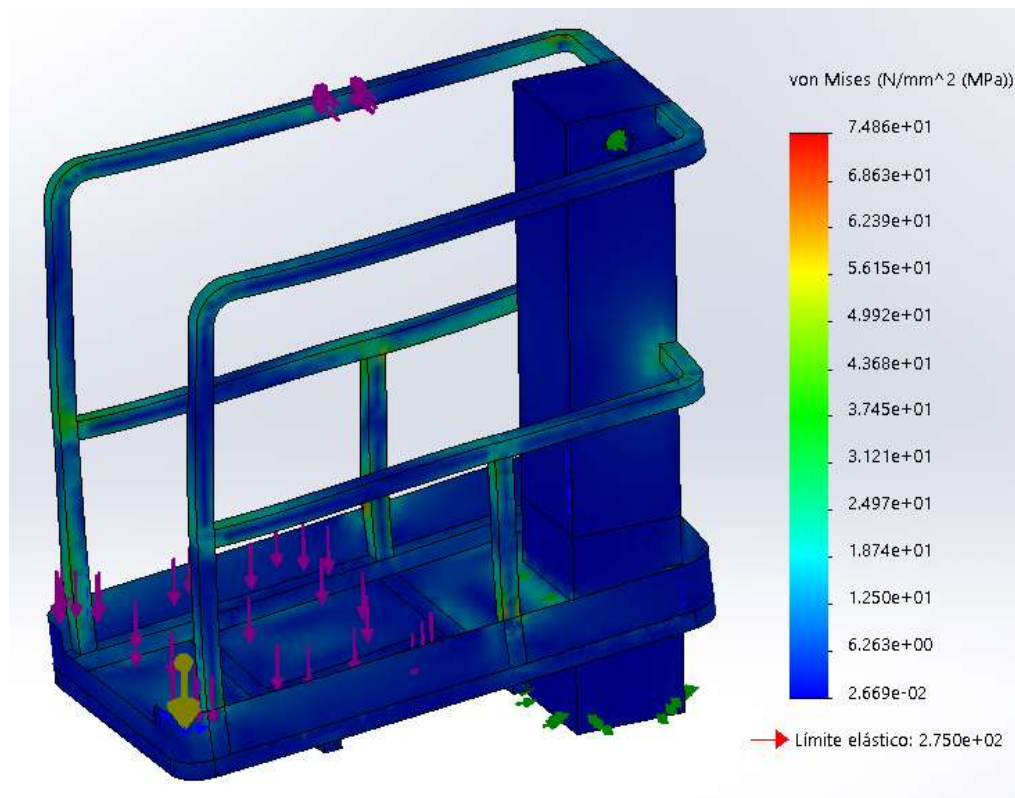


Imagen 98: Tensión cara superior del elemento (malla muy fina)

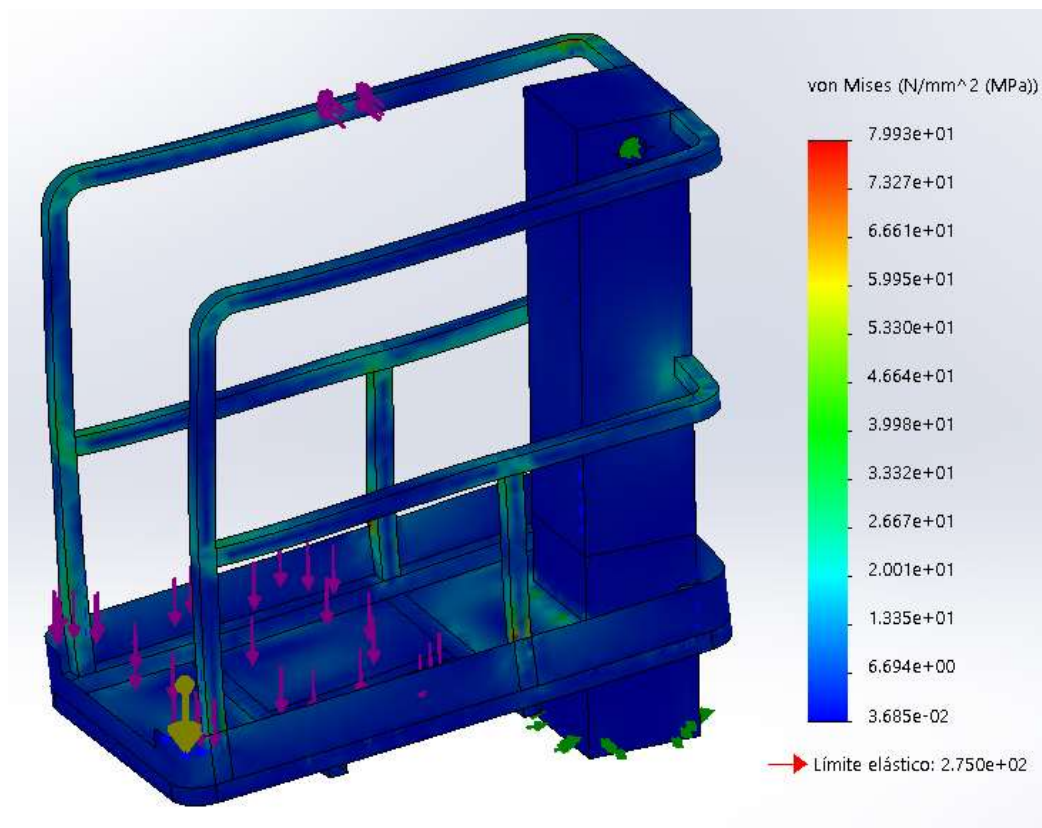


Imagen 99: tensión cara inferior del elemento (malla muy fina)

### 2.5.2. Análisis estático malla fina.

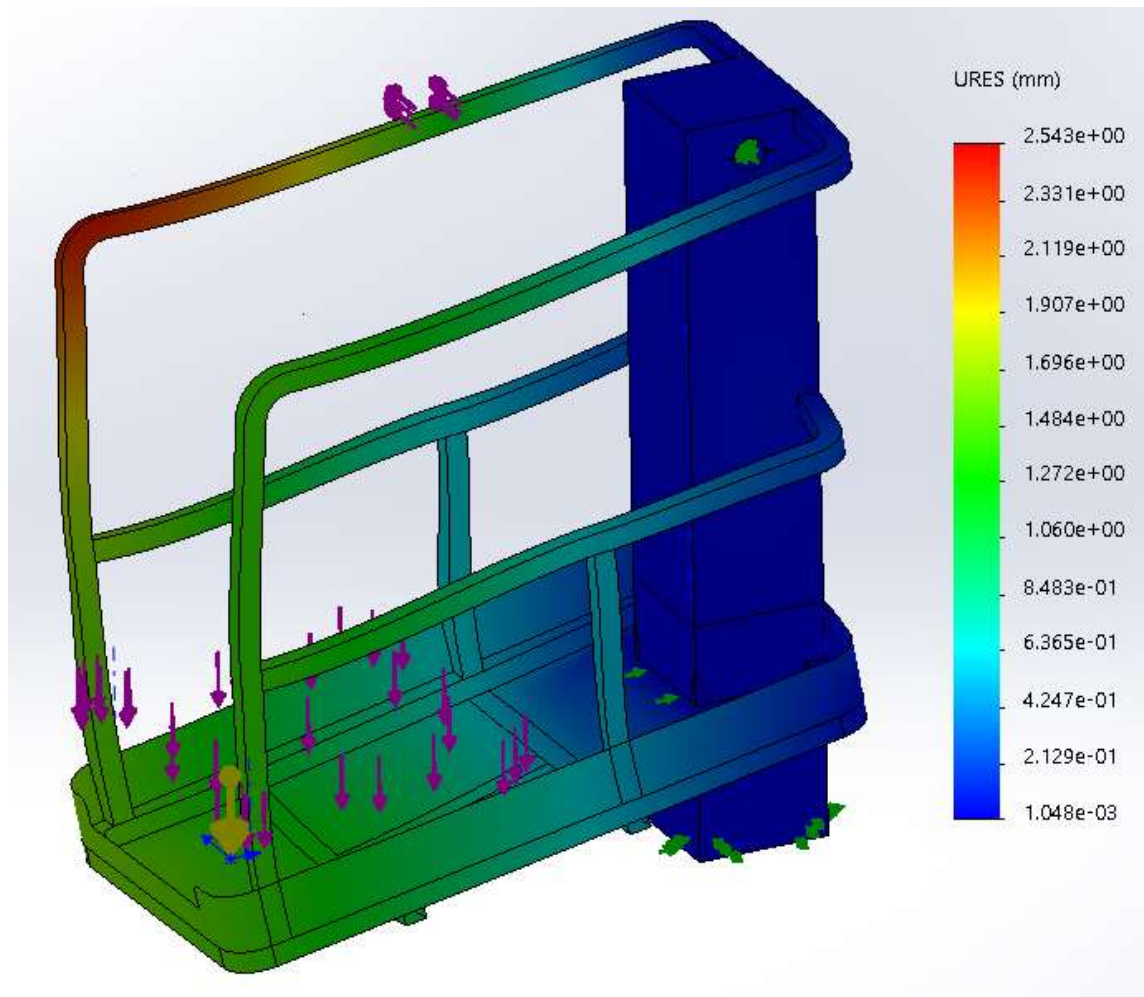


Imagen 100: Desplazamiento (malla fina)



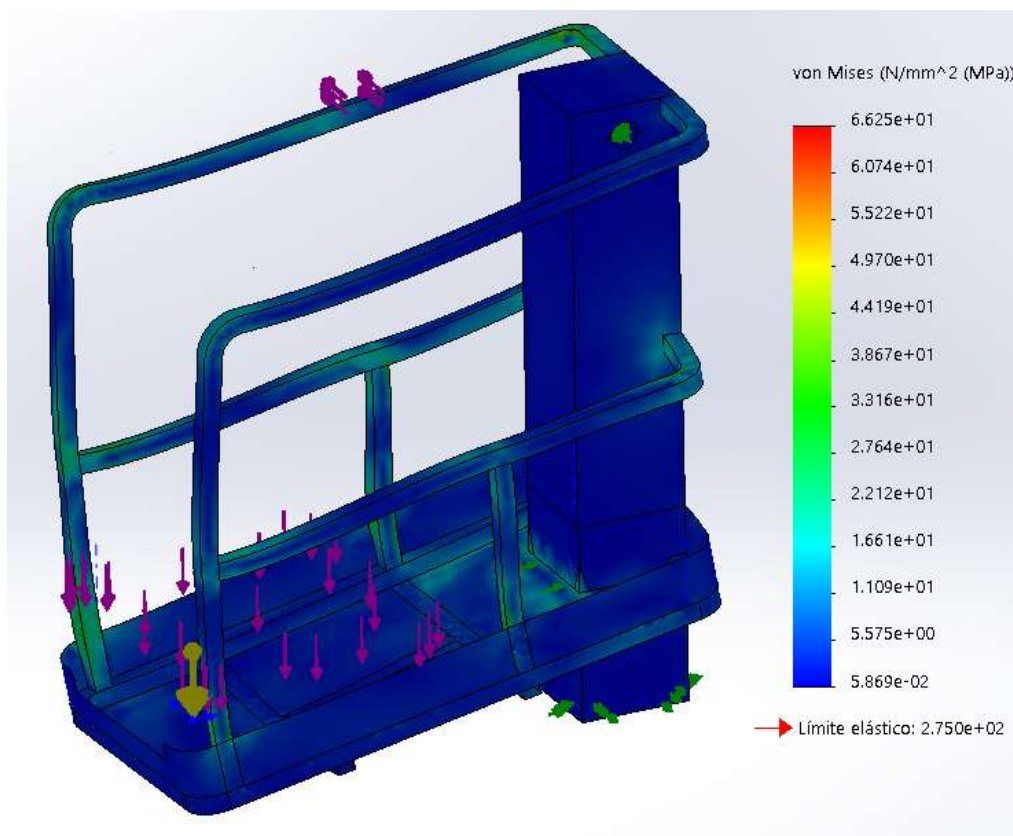


Imagen 101: Tensión cara superior del elemento (malla fina)

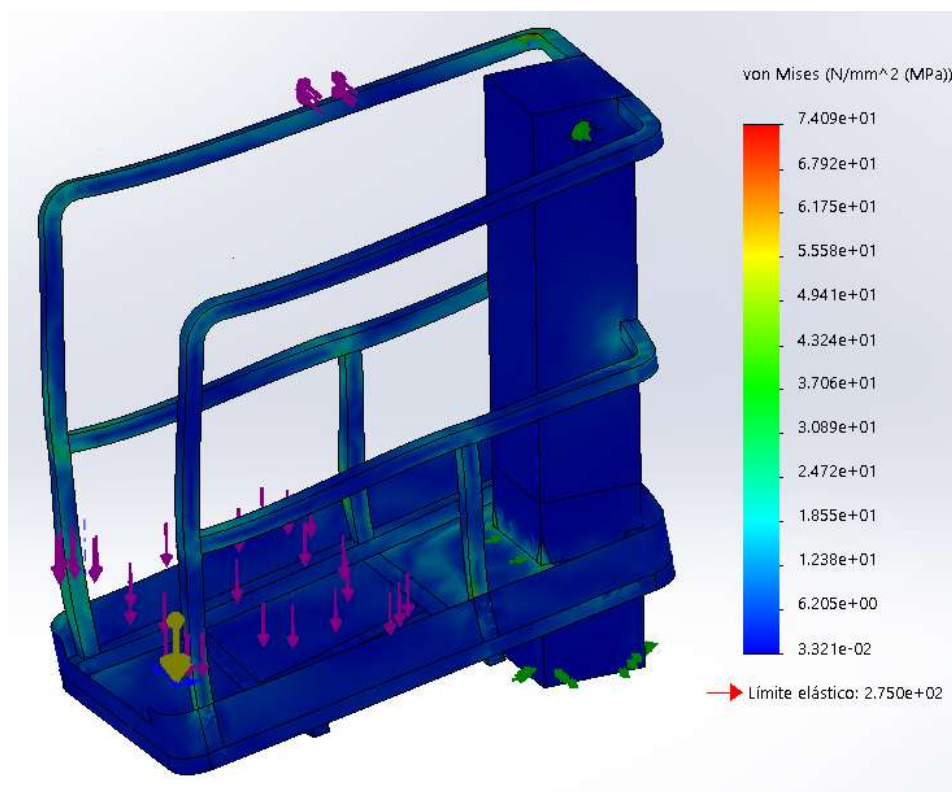
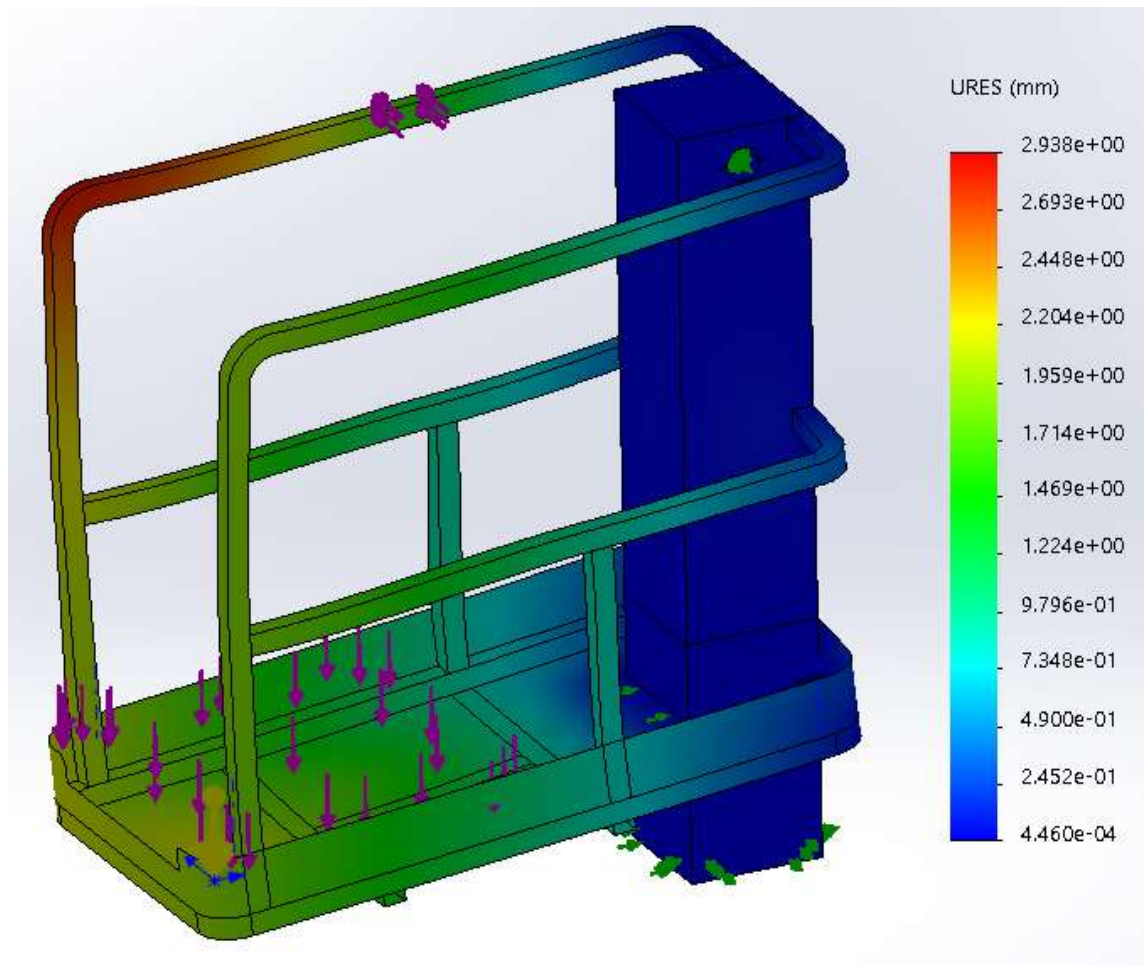


Imagen 102: tensión cara inferior del elemento (malla fina)

### 2.5.3. Análisis estático malla gruesa.



*Imagen 103: Desplazamiento (malla gruesa)*



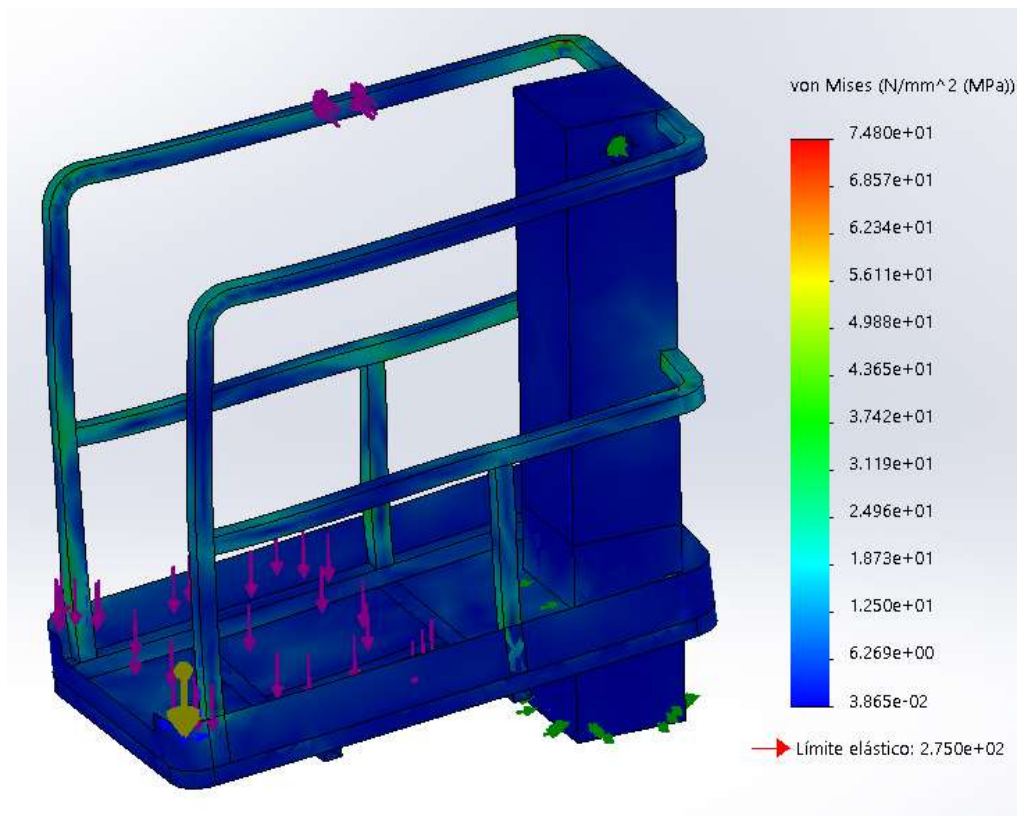


Imagen 104: Tensión cara superior del elemento (malla gruesa)

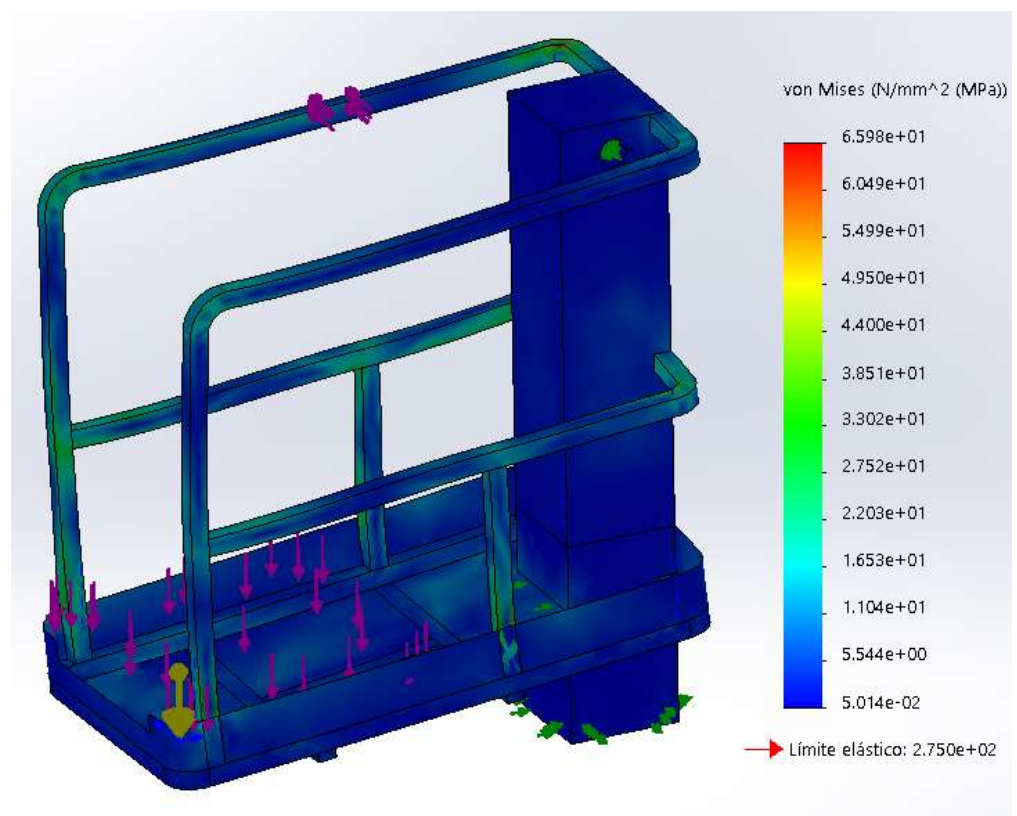
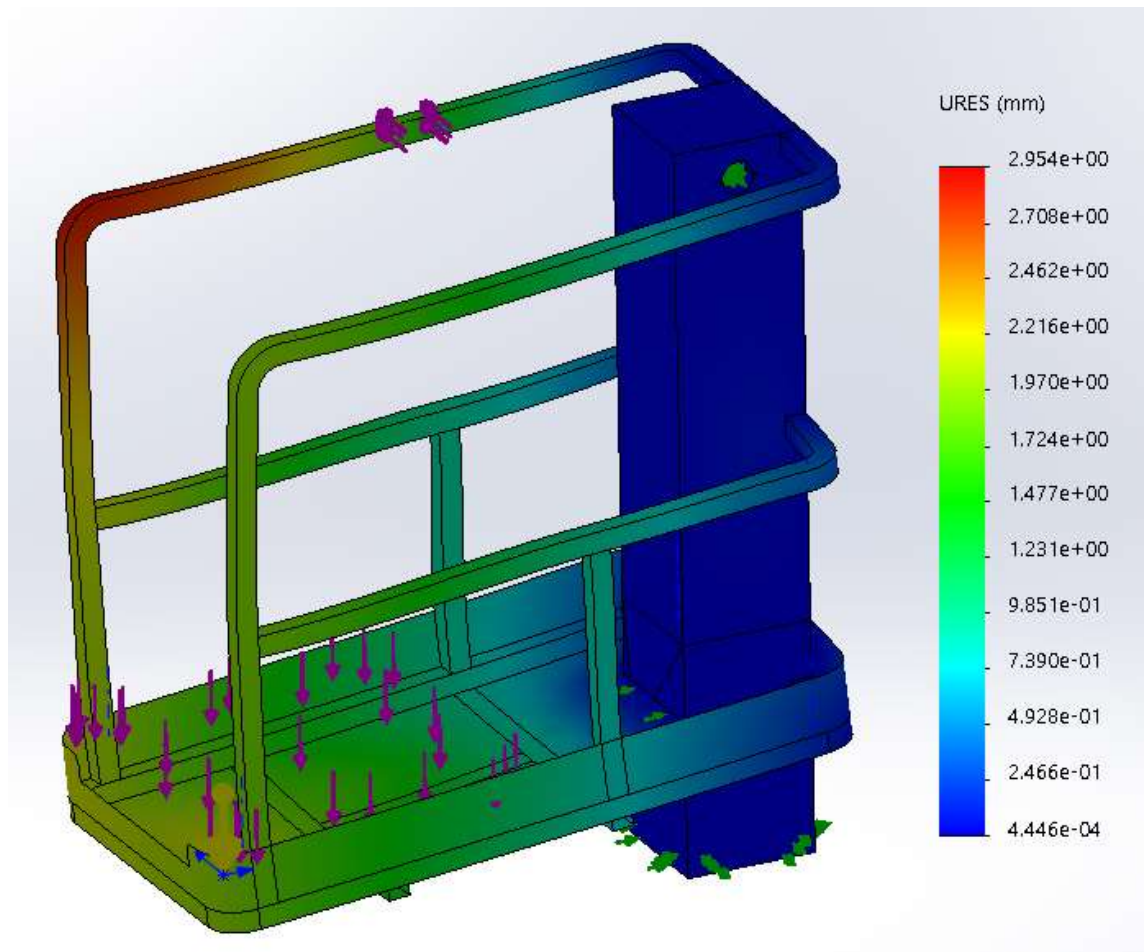


Imagen 105: tensión cara inferior del elemento (malla gruesa)

#### 2.5.4. Análisis estático malla muy gruesa.



*Imagen 106: Desplazamiento (malla muy gruesa)*

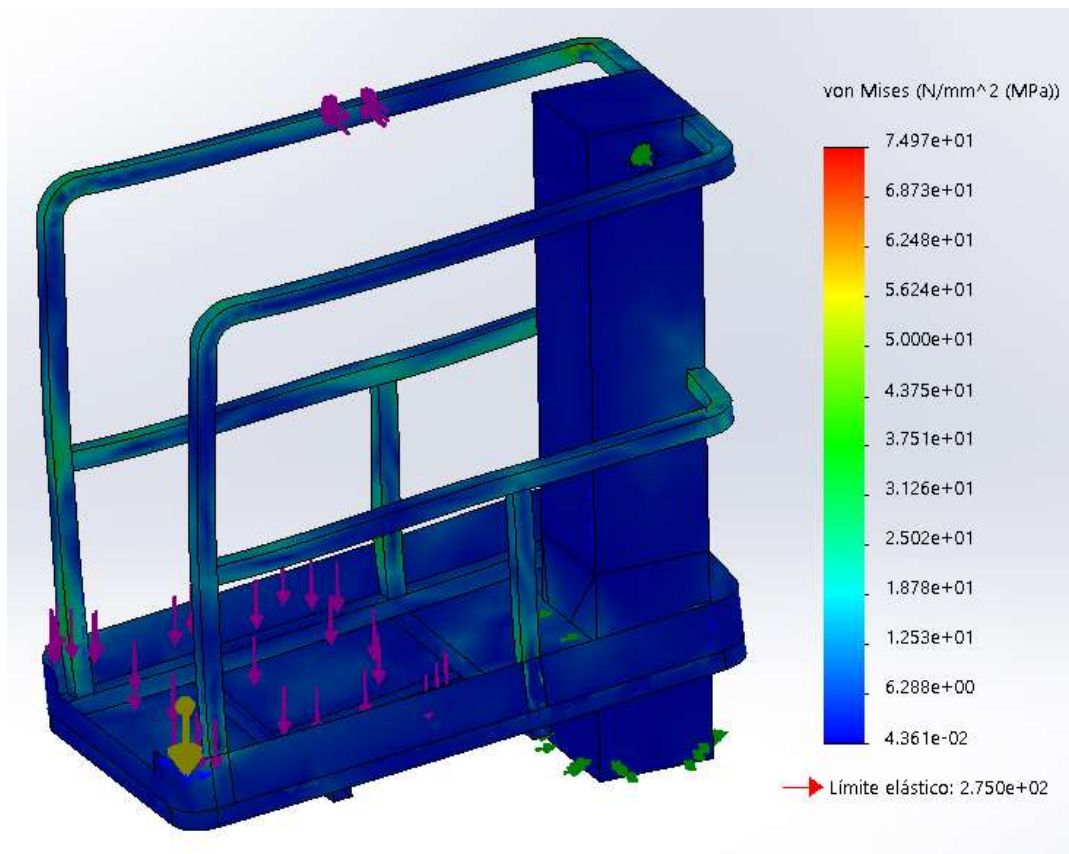


Imagen 107: Tensión cara superior del elemento (malla muy gruesa)

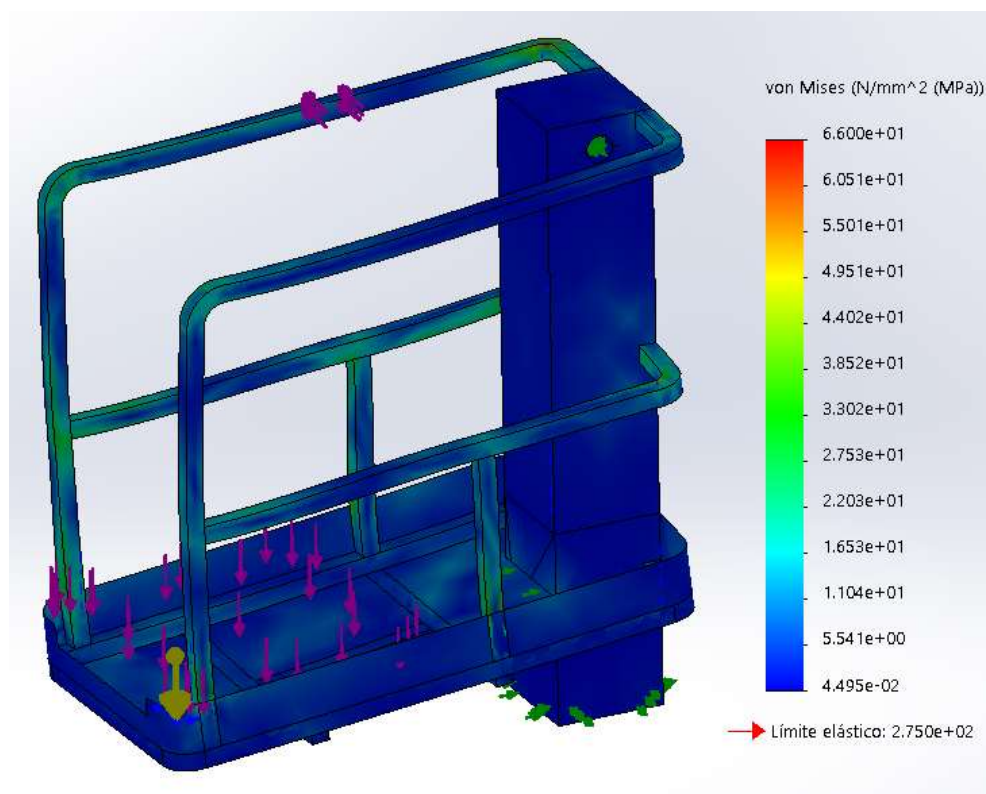


Imagen 108: tensión cara inferior del elemento (malla muy gruesa)

### 3. OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURA DEL MÁSTIL

---

#### 3.1. Perfil (100x100x10mm)

$$I_{Zext} = \frac{100 \times 100^3}{12} = 8,33 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{Zext} = \frac{80 \times 80^3}{12} = 3,41 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{ZT} = (8,33 \times 10^6) - (3,41 \times 10^6) = 49,2 \times 10^5 mm^4$$

$$W_Z = \frac{49,2 \times 10^5}{\frac{100}{2}} = 98400 mm^3$$

$$\sigma_{perfil} = \frac{4063500}{98400} = 41,295 MPa$$

Aplicando la condición de diseño  $91,66 > 41,295 [MPa]$ , se observa que la tensión admisible es superior que la tensión del perfil. Por lo tanto existe margen para optimizar el perfil de espesor 10mm.

#### 3.2. Perfil (100x100x6mm)

$$I_{Zext} = \frac{100 \times 100^3}{12} = 8,33 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{Zext} = \frac{88 \times 88^3}{12} = 4,99 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{ZT} = (8,33 \times 10^6) - (4,99 \times 10^6) = 33,35 \times 10^5 mm^4$$

$$W_Z = \frac{33,35 \times 10^5}{\frac{100}{2}} = 66717,44 mm^3$$

$$\sigma_{perfil} = \frac{4063500 Nmm}{66717,44 mm^3} = 60,91 MPa$$

La tensión producida en el perfil de espesor 6mm sigue siendo inferior a la tensión admisible. Cumple la condición de diseño, pero queda margen de optimización

### 3.3. Perfil (100x100x3mm)

$$I_{Zext} = \frac{100 \times 100^3}{12} = 8,33 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{Zext} = \frac{94 \times 94^3}{12} = 4,99 \times 10^6 mm^4$$

$$I_{ZT} = (8,33 \times 10^6) - (4,99 \times 10^6) = 3,34 \times 10^6 mm^4$$

$$W_z = \frac{I_{ZT}}{\frac{100}{2}} = 36541,84 mm^3$$

$$\sigma_{perfil} = \frac{4063500}{36541,84} = 111,2 MPa$$

La tensión producida en este perfil, es superior a la tensión admisible. Se descarta la utilización de este perfil para la fabricación de la estructura, ya que no cumple la condición de diseño.

#### 4. DIMENSIONAMIENTO GUÍA DE NYLON

---

##### 4.1. Dimensiones guía de nylon perfil nº 2.

Perfil cuadrado de 150mm de lado. Se fija la anchura máxima de la guía en 130mm, para prevenir que coincida con los vértices redondeados del mástil. Y se realizan pruebas modificando su longitud.

Dimensiones: L= 110mm, a= 130mm

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8MPa}{3} \times 110mm \times 130mm = 66256,66N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 66256,66N \times \frac{0,11m}{3} = 2429,41Nm$$

Dimensiones: L= 140mm, a= 130mm

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8MPa}{3} \times 140mm \times 130mm = 84326,66N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 84326,66N \times \frac{0,14m}{3} = 3935,24Nm$$

Dimensiones: L= 145mm, a= 130mm

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8MPa}{3} \times 145mm \times 130mm = 87338,33N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 87338,33N \times \frac{0,145m}{3} = 4221,35Nm$$

$$M_{nylon} > M_{mástil} \quad 4221,35Nm > 4063,5Nm$$

Las dimensiones que debe tener la pieza de nylon que ejerce de guía en el tramo 2 del mástil, pensando en la optimización del material, son 145x130mm. El momento producido en el nylon es superior al momento flector del mástil, por lo tanto al transmitirle el momento flector del mástil lo soportara sin problemas.



#### 4.2. Dimensiones guía de nylon perfil nº 3.

El tramo 3 de la columna está formado por un perfil cuadrado de lado 200mm. Teniendo en cuenta las medidas del perfil fijaremos la anchura máxima del nylon en 180mm.

Dimensiones: L= 120mm, a= 180mm

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8MPa}{3} \times 120mm \times 180mm = 100080N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 100080N \times \frac{0,12m}{3} = 4003,2Nm$$

Dimensiones: L= 125mm, a= 180mm

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{27,8MPa}{3} \times 125mm \times 180mm = 104250N$$

$$M = F \times \frac{L}{3} = 104250N \times \frac{0,125m}{3} = 4343,75Nm$$

$$M_{nylon} > M_{mástil} \quad 4343,75Nm > 4063,5Nm$$

Las dimensiones para que la guía del tramo 3 soporte el momento flector deben de ser 125mm de longitud y 180mm de anchura.